

ESCUELA NACIONAL DE MARINA MERCANTE ALMIRANTE MIGUEL GRAU

PROGRAMA ACADÉMICO DE MARINA MERCANTE
ESPECIALIDAD MÁQUINAS



PROYECTO DE FACTIBILIDAD EN EL USO DE PANELES SOLARES COMO GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD EN AMBIENTES ENAMMM

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
OFICIAL DE MARINA MERCANTE

PRESENTADA POR:

JERI HUACAYCHUCO, JORDAN ADOLFO

SACHA NAVARRO, GERARDO JUNIOR

CALLAO, PERÚ

2017

PROYECTO DE FACTIBILIDAD EN EL USO DE PANELES
SOLARES COMO GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA
SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD EN AMBIENTES ENAMM

JERI HUACAYCHUCO, JORDAN ADOLFO

DEDICATORIA:

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos. A mis padres por apoyarme en todo momento, por sus consejos, por la motivación constante que me ha impulsado para seguir adelante, pero más que nada, por su infinito amor. A mis hermanos, Jandir Erick y Leonardo Fabricio, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho. A todos mis familiares que participaron de forma directa o indirectamente en la elaboración de mi tesis. A mi enamorada María Judith, por su gran apoyo incondicional durante el trayecto de este trabajo, de inicio a fin.

SACHA NAVARRO, GERARDO JUNIOR

DEDICATORIA:

A mis padres que me apoyaron a pesar de todo y por la paciencia que siempre tienen conmigo. A mis profesores del colegio y de la ENAMM que dieron sus conocimientos para mi desarrollo profesional.

JERI HUACAYCHUCO, JORDAN ADOLFO

AGRADECIMIENTO:

A todas mis compañeros (as), quienes estuvieron pendientes de mis avances. A mis asesores, quienes me orientaron en el proceso de este trabajo. A Jonathan por apoyarme en gran parte de la tesis.

SACHA NAVARRO, GERARDO JUNIOR

AGRADECIMIENTO:

A Dios todopoderoso que lo da todo y lo quita todo, y es amor. A mis Padres por su apoyo incondicional y a mi Comunidad Tierra Santa que me ayudo a ver la verdad de la vida.

ÍNDICE

	Páginas
Portada.....	i
Título.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	v
INDICE.....	vi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	xx

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2 Objetivos de la investigación.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificación de la investigación.....	3
1.3.1 Justificación teórica.....	3
1.3.2 Justificación práctica.....	4
1.3.3 Justificación social.....	4
1.3.4 Justificación ambiental.....	4
1.3.5 Justificación económica.....	4
1.4 Limitaciones de la investigación.....	5
1.5 Viabilidad de la investigación.....	5

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación.....	6
2.2	Orientación profesional.....	13
2.3	Bases teóricas.....	19
2.3.1	Energía Renovable.....	19
2.3.2	Energía renovable solar.....	20
2.3.2.1	Irradiancia.....	22
2.3.2.2	Irradiación.....	22
2.3.2.3	Energía fotovoltaica.....	23
2.3.2.4	Efecto fotovoltaico.....	23
2.3.3	Sistema fotovoltaico.....	25
2.3.3.1	Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	25
2.3.3.2	Componentes de un sistema fotovoltaico.....	28
2.3.3.2.1	Módulo o panel fotovoltaico.....	28
2.3.3.2.1.1	Tipos de celdas fotovoltaicas.....	29
2.3.3.2.1.2	Rendimiento de eficiencia alcanzada en los diversos paneles fotovoltaicos.....	32
2.3.3.2.2	Regulador de carga.....	33
2.3.3.2.3	Acumulador o batería.....	34
2.3.3.2.4	Convertidor.....	35
2.3.4	Medición de la energía solar.....	36
2.3.5	Aprovechamiento de radiación solar.....	37
2.3.6	Condiciones y entorno.....	41
2.3.7	Orientación de un panel fotovoltaico.....	41
2.3.8	Angulo de inclinación de un panel fotovoltaico.....	42
2.3.9	Temperatura de un panel fotovoltaico.....	44
2.3.10	Tipos de montaje de paneles fotovoltaicos.....	45
2.3.11	Mantenimiento.....	50
2.4	Definiciones conceptuales.....	51

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RADIACIÓN SOLAR EN EL PERÚ

3.1 Evaluación de la energía solar en el Perú.....	53
3.2 Red de medición e información utilizada.....	54
3.3 Distribución espacial y temporal de la energía solar incidente diaria en el Perú.....	57
3.3.1 Distribución anual.....	58
3.3.2 Distribución estacional.....	58
3.4 Instrumentos de medición de la irradiación solar.....	60
3.4.1 Pirheliómetro.....	60
3.4.2 Piranómetros.....	62
3.4.3 Medición de la irradiación solar difusa.....	64
3.4.4 Actinógrafo.....	64
3.4.5 Heliógrafo.....	65
3.4.6 Instrumental de temperaturas extremas.....	66
3.5 Modelos de estimación de la irradiación solar.....	67
3.5.1 Modelo Angstrom-Prescott.....	67
3.5.2 Modelo Bristow - Campbell.....	68

CAPITULO IV: DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.1 Aplicación del mapa de radiación solar.....	69
4.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	72
4.2.1 Dimensionado de la opción N° 1.....	72
4.2.2 Dimensionado de la opción N° 2.....	74
4.3 Elementos del sistema fotovoltaico.....	78
4.3.1 Cálculo y selección del panel solar fotovoltaico.....	78
4.3.2 Cálculo y selección de la batería de almacenamiento.....	87
4.3.2.1 Cálculo para tres días de reserva.....	87
4.3.3 Cálculo y selección del conductor.....	93

4.3.3.1	Cálculo de sección y diámetro de conductor del tramo.....	99
4.3.3.1.1	Panel fotovoltaico – Regulador.....	99
4.3.3.1.2	Regulador - Batería.....	100
4.3.3.1.3	Regulador – Distribuidor.....	100
4.3.3.1.4	Distribuidor - Panel de Control N°1.....	101
4.3.3.1.5	Distribuidor - Panel de Control N°2.....	102
4.3.3.1.6	Panel de Control N°1 - Último foco del pasadizo N°3, lado izquierdo.....	102
4.3.3.1.7	Panel de Control N°1 - Último foco del pasadizo N°3, lado derecho.....	103
4.3.3.1.8	Panel de Control N°2 - Último foco del pasadizo N°4, lado izquierdo.....	104
4.3.3.1.9	Panel de Control N°2 - Último foco del pasadizo N°4, lado derecho.....	104
4.4	Cálculo y selección del regulador de carga.....	110
4.5	Cálculo y selección de las luminarias.....	112
4.6	Cálculo y selección de protecciones de corriente continua.....	115
4.6.1	Fusibles.....	116
4.6.2	Portafusibles.....	127
4.7	Equipos del sistema.....	129

CAPÍTULO V: ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA

5.1	Presupuesto de instalación.....	131
5.2	Costos de reemplazo para un periodo aproximado de 30 años.....	132
5.3	Recuperación de la inversión.....	132
5.4	Análisis costo – beneficio.....	136

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.....	141
6.2 Recomendaciones.....	143

FUENTES DE INFORMACIÓN

Referencias.....	144
------------------	-----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia de diversas celdas solares.....	32
Tabla 2. Datos de las estaciones meteorológicas llevadas a calibración.....	55
Tabla 3. Principales variables climatológicas de las estaciones meteorológicas llevadas a calibración.....	56
Tabla 4. Datos de energía solar incidente diaria de cada mes de la localidad del Callao – La punta.....	70
Tabla 5. Energía total diaria del pasadizo 1 y 2 del sistema fotovoltaico “A”.....	73
Tabla 6. Energía total diaria del pasadizo 3 y 4 del sistema fotovoltaico “B”.....	73
Tabla 7. Energía total del pasadizo 3 del sistema fotovoltaico “A”.....	75
Tabla 8. Energía total del pasadizo 2 del sistema fotovoltaico “B”.....	75
Tabla 9. Energía total del pasadizo 1 del sistema fotovoltaico “C”.....	75
Tabla 10. Energía total del pasadizo 4 del sistema fotovoltaico “D”.....	78
Tabla 11. Valoración económica del panel fotovoltaico seleccionado para un sistema solar de la opción N°1.....	80
Tabla 12. Valoración económica resultante de los paneles seleccionados de la opción N°1.....	80
Tabla 13. Valoración económica del panel fotovoltaico seleccionado para un solo sistema solar como “A” y “B”.....	82
Tabla 14. Valoración económica resultante de los paneles seleccionados de la opción N°2 de los sistemas solares “A” y “B”.....	83
Tabla 15. Valoración económica del panel fotovoltaico seleccionado para un solo sistema solar como “C” y “D” de la opción N°2.....	85
Tabla 16. Valoración económica resultante de los paneles seleccionados de la opción N°2 de los sistemas solares “C” y “D”.....	85

Tabla 17. Valoración económica final de los paneles seleccionados de la opción N°2.....	86
Tabla 18. Cantidad total de baterías seleccionadas para el diseño de la opción N°1.....	92
Tabla 19. Valoración económica total de las baterías seleccionadas con un tiempo de vida máxima de 15 años.....	93
Tabla 20. Valoración económica final de las baterías seleccionadas con un tiempo de vida máxima de 30 años.....	93
Tabla 21. Porcentaje de pérdida de tensión por tramo seleccionado.....	95
Tabla 22. Longitudes máximas de los diferentes tramos del sistema.....	98
Tabla 23. Calibre AWG según el diámetro y sección del conductor.....	105
Tabla 24. Calibres resultantes de los diferentes tramos del sistema fotovoltaico “B”.....	106
Tabla 25. Longitudes finales de los diferentes calibres seleccionados del diseño de la opción N°1.....	107
Tabla 26. Tipos de conductores eléctricos según la NEC (National Electrical Code).....	108
Tabla 27. Valoración económica total de las cables seleccionados para el sistema fotovoltaico “A” y “B” de la opción N°1.....	109
Tabla 28. Valoración económica del regulador seleccionado para los sistemas solares de la opción N°1.....	112
Tabla 29. Datos de intensidad luminosa para una buena iluminación.....	113
Tabla 30. Valoración económica total de las focos LED seleccionados con un tiempo de vida máxima de 28 años para los sistemas de la opción N°1.....	114
Tabla 31. Intensidades máximas admisibles en temperatura ambiente 40°C.....	117

Tabla 32. Intensidades nominales normalizadas para fusibles de baja tensión.....	117
Tabla 33. Tipos de fusibles.....	126
Tabla 34. Fusibles elegidos de los diferentes tramos de marca Bussmann – 12V.....	126
Tabla 35. Intensidades nominales normalizadas para portafusibles de baja tensión.....	127
Tabla 36. Valoraciones económicas de los portafusibles tubulares de montaje carril DIN – 32A, 12V seleccionadas.....	128
Tabla 37. Equipos seleccionados para el sistema fotovoltaico.....	129
Tabla 38. Herramientas instrumentos a utilizar.....	130
Tabla 39. Lámina de costos del sistema fotovoltaico “A” y “B” según un el diseño del opción N°1.....	131
Tabla 40. Lámina de costos del proyecto con un tiempo de vida útil alrededor de 30 años según diseño de la opción N°1.....	132
Tabla 41. Costos de producción de la energía según la tarifa eléctrica (MT3) contratada.....	133
Tabla 42. Costo total del sistema convencional.....	136
Tabla 43. Costo del sistema fotovoltaico.....	138
Tabla 44. Ahorro económico.....	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de distribución de energía generado por el sistema fotovoltaico.....	13
Figura 2. Vista lejana del buque de carga Auriga Leader.....	14
Figura 3. Vista cercana de los paneles solares sobre la cubierta del buque Auriga Leader.....	14
Figura 4. Vista virtual del catamarán Sun21.....	15
Figura 5. Vista de frente del catamarán Turanor.....	17
Figura 6. Vista lejana del Ferry TexelStroom.....	18
Figura 7. Componentes de la radiación solar terrestre total.....	21
Figura 8. Proceso del efecto fotovoltaico.....	24
Figura 9. Esquema simple de un sistema fotovoltaico.....	25
Figura 10. Esquema del sistema fotovoltaico autónomo.....	26
Figura 11. Esquema del sistema fotovoltaico conectado a red.....	27
Figura 12. Esquema del sistema fotovoltaico híbrido.....	28
Figura 13. Panel fotovoltaico monocristalino.....	29
Figura 14. Panel fotovoltaico policristalino.....	30
Figura 15. Panel fotovoltaico amorfo.....	31
Figura 16. Regulador de carga.....	33
Figura 17. Baterías en serie.....	34
Figura 18. Batería o acumulador.....	35
Figura 19. Convertidor o Inversor.....	35
Figura 20. Distribución de la radiación sobre la superficie de Lima - Perú.....	37
Figura 21. Declinación solar del Perú.....	38

Figura 22. Irradiancia vs Metros sobre el nivel del mar (msnm).....	39
Figura 23. Recibo eléctrico del mes de Abril de ENAMM.....	40
Figura 24. Orientación de panel fotovoltaico.....	42
Figura 25. Ángulo de inclinación de panel fotovoltaico.....	43
Figura 26. Relación intensidad vs Voltaje de un panel fotovoltaico según la temperatura.....	44
Figura 27. Relación potencia vs Voltaje de un panel fotovoltaico según la temperatura.....	45
Figura 28. Montaje en tierra para panel fotovoltaico.....	46
Figura 29. Montaje directo con cubierta inclinada.....	47
Figura 30. Montaje directo con cubierta plana.....	47
Figura 31. Montaje con seguimiento modelo 1.....	49
Figura 32. Montaje con seguimiento modelo 2 y 3.....	49
Figura 33. Pirheliómetro de compensación Angstrom.....	61
Figura 34. Piranómetro Kipp & Zonen.....	63
Figura 35. Piranometro de Bellani.....	63
Figura 36. Actinógrafo o piranógrafo bimetalico de Robitzch.....	65
Figura 37. Heliógrafo Campbell - Stokes.....	66
Figura 38. Termómetro de máxima (superior), termómetro de mínima (inferior).....	67
Figura 39. Dibujo del diseño de la opción N°1.....	72
Figura 40. Dibujo del diseño de la opción N°2.....	74
Figura 41. Paneles solares de la opción N°1.....	79
Figura 42. Paneles solares de la opción N°2 para el sistema solar “A” y “B”.....	81

Figura 43. Paneles solares de la opción N°2 para el sistema solar “C” y “D”.....	84
Figura 44. Baterías solares.....	88
Figura 45. Gráfica de relación entre el tiempo de vida vs Temperatura de batería.....	90
Figura 46. Gráfica de relación entre DOD vs Numero de ciclos.....	90
Figura 47. Cables del sistema solar en la 4° Cubierta de la ENAMM.....	96
Figura 48. Cables del sistema solar en la 3° Cubierta de la ENAMM vista N°1.....	97
Figura 49. Cables del sistema solar en la 3° Cubierta de la ENAMM vista N°2.....	97
Figura 50. Cables del sistema solar en la 2° Cubierta de la ENAMM.....	98
Figura 51. Calibre de conductores.....	109
Figura 52. Selección de regulador.....	111
Figura 53. Fusible 20 A – 12V.....	127
Figura 54. Portafusible 32 A – 12 V.....	128

LISTA DE GRÁFICAS

Grafica 1. Comparación de costos entre la opción 1 y 2.....	86
Grafica 2. Retorno de inversión de instalación inicial.....	135
Grafica 3. Retorno de inversión para una instalación prolongada a 30 años.....	135
Gráfica 4. Comparación de gasto entre los sistemas convencional y fotovoltaico	139

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del uso de energía renovable solar sobre el consumo eléctrico en ambientes de la Escuela Nacional de Marina Mercante (ENAMM). Se elaboró un marco teórico en base a la bibliografía universal, se evaluó los requerimientos de consumo energético de los pasillos de la segunda cubierta del patio principal de la ENAMM y en base de la determinación del potencial energético del sol de la localidad, se proyectó dos sistemas fotovoltaicos, donde cada sistema suministrará energía eléctrica a los pasadizos adyacentes a ellos, y cada sistema generará 666.864 Wh/día, alimentando una carga de 55.572 Ah/día, con el uso de 2 paneles fotovoltaicos, un banco de 4 baterías conectadas en serie. Se utilizó también un controlador para evitar la sobre carga y descarga total de las baterías de almacenamiento las que no deben sobrepasar de un 30% en su descarga, teniendo el sistema una vida útil como máximo de 15 años, dando así un tiempo de retorno de inversión de 23 años; con este resultado se buscó ampliar la vida útil del sistema a 30 años como máximo a través del reemplazo de las baterías, obteniendo así un tiempo de retorno de 28 años.

Con los resultados obtenidos se observa que no se consiguen grandes beneficios económicos; sin embargo, la inversión se justifica por la no agresividad ecológica de la energía solar y que resulta una alternativa viable de utilización de nuevas fuentes de energía dentro de la matriz energética del país.

ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the effect of the use of solar renewable energy on the electrical consumption in environments of the National School of Merchant Marine (ENAMM). A theoretical framework was elaborated based on the universal bibliography, the energy consumption requirements of the corridors of the second deck of the main courtyard of the ENAMM were evaluated and based on the determination of the energy potential of the local sun, it was projected two Each system will supply 666,864 Wh / day, feeding a load of 55,572 Ah / day, with the use of 2 photovoltaic panels, a bank of 4 batteries connected in series. A controller was also used to avoid overloading and unloading of storage batteries, which should not exceed 30% in their discharge, with the system having a maximum life of 15 years, thus giving a return time of Investment of 23 years; With this result it was sought to extend the useful life of the system to a maximum of 30 years by replacing the batteries, thus obtaining a return time of 28 years.

With the results obtained it is observed that great economic benefits are not obtained; however, the investment is justified by the ecological non-aggressiveness of solar energy and results a viable alternative of using new energy sources within the energy matrix of the country.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se observa la importancia de buscar una fuente de energía de natural que en este caso es la energía solar, debido a la contaminación ambiental que va en aumento y a los altos costos de consumo de energía eléctrica mediante métodos convencionales.

Para ello, se llevó a cabo una investigación en la cual se planteó el uso de un sistema fotovoltaico como fuente generadora de energía, con la finalidad de dar a conocer cuáles son los beneficios de usar energía renovable en temas de medio ambiente y consumo eléctrico, además del ahorro económico que puede generar este sistema.

El presente trabajo muestra en el primer capítulo el planteamiento del problema y se formula una descripción de la realidad problemática. Además, se muestra el objetivo general, los objetivos específicos, su justificación, limitación y viabilidad.

El segundo apartado inicia con los antecedentes de la investigación, seguido de las bases teóricas indicando la definición de energía renovable solar, sistema fotovoltaico, condiciones y entorno y los tipos de sistemas fotovoltaicos. El tercer apartado habla sobre análisis de radiación solar en el Perú y los instrumentos utilizados para poder medir la radiación que hay en la zona donde se trabajará.

Luego en el cuarto acápite se desarrolla el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y el cálculo de la energía necesaria para abastecer las luminarias. En el quinto título se analiza el presupuesto de instalación, el costo de los equipos y la recuperación de la inversión. Se finaliza con las conclusiones del estudio y las recomendaciones.

En el proceso de este trabajo, se han encontrado limitaciones como la falta de apoyo de diversas empresas especializadas en el campo y la dificultad de conseguir información exacta y actual de la zona geográfica donde se va aplicar dicho estudio.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

A medida que ha pasado el tiempo, el ser humano va dependiendo cada vez más de los recursos energéticos, lo cual ocasiona la crisis económica, siendo un gran problema que afecta a la mayoría, un ejemplo es el aumento de los costos de la energía eléctrica.

Además, debido a la generación de energía mediante métodos convencionales, los niveles de contaminación en el medio ambiente son cada vez más alarmantes, originando altas cantidades de CO₂, disminuyendo la calidad del aire que se consume y dañando irremediablemente la capa de ozono.

Por lo mencionado anteriormente, es necesario buscar una forma alternativa de abastecimiento disponible de forma natural (solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, etc.) técnicamente factible y económicamente viable, que pueda ser aprovechada para convertirla en energía eléctrica, como la energía solar fotovoltaica (Pérez, 2009).

Así mismo, en la actualidad la ENAMM cuenta con una gran demanda energética en sus diversas instalaciones por su infraestructura, usando gran parte del día iluminación para sus sectores. Como consecuencia, cada fin de mes se obtiene un gran gasto económico, sumado a que no se da énfasis a un mejoramiento en iluminación de dicha institución y el desbalance económico actual.

A fin de contrarrestar esta problemática la presente investigación propone un estudio en el efecto del uso de energía eléctrica renovable y limpia, en los pasadizos de la segunda Cubierta de la mencionada unidad académica, dando aporte en el costo-beneficio de la institución, a través de un análisis de factibilidad en su aplicación a futuro. De esa manera se promueve la toma de conciencia a la generación actual y futura sobre el impulso al mejoramiento de diversos aspectos y ámbitos que la escuela necesita implementar.

Así también aporta, al protocolo de Kyoto, que incentiva la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mediante una bonificación por tonelada de CO₂ no emitida. Asimismo, el Decreto Legislativo N°1002 declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de nueva generación eléctrica mediante el uso de Recursos Energéticos Renovables (RER) la opción más limpia y beneficiosa, dentro de las cuales, destaca la energía solar fotovoltaica, en lugar de la generación eléctrica con derivados del petróleo y gas natural, por ser estas fuentes no renovables y contaminantes (Valdiviezo, 2014).

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

- Realizar un estudio de factibilidad del uso de paneles fotovoltaicos para generación de electricidad en las luminarias de la 2° Cubierta del patio principal de la ENAMM.

1.2.2 Objetivos específicos

Objetivo específico 1

- Analizar los requerimientos para parámetros óptimos en la producción de energía eléctrica a base de paneles fotovoltaicos.

Objetivo específico 2

- Cuantificar el flujo de energía necesaria para las luminarias de la 2° Cubierta del patio principal de la ENAMM.

Objetivo específico 3

- Diseñar el sistema a utilizarse para la generación de energía eléctrica.

Objetivo específico 4

- Evaluar el proyecto desde el punto de vista económico.

Objetivo específico 5

- Definir la factibilidad del proyecto.

1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica y adquiere importancia por las siguientes razones:

1.3.1 Justificación teórica

Esta investigación ayudará a llenar el vacío de conocimientos referentes al uso de paneles solares como generación fotovoltaica para suministro de electricidad en ambientes ENAMM. A su vez permitirá generalizar los resultados a otros estudios y contribuirá como modelo de futuras investigación más amplias y complejas.

1.3.2 Justificación práctica

Se justifica el trabajo porque ayudará a disminuir el problema de la crisis energética y de la contaminación ambiental. Los resultados del trabajo ayudarán a crear una mayor conciencia en los estudiantes y profesores de la ENAMM respecto al ahorro energético y al cuidado del medio ambiente. Sumando a esto se realizarán charlas informativas y talleres educativos para fortalecer la mentalidad de conciencia ambiental.

1.3.3 Justificación social

El proyecto se enfoca en generación de energías limpias, de esta manera aportará directamente a la sociedad con la conservación de la naturaleza. La trascendencia de este trabajo para la sociedad y en especial para la ENAMM es ser el primero en su tipo y puede servir de modelo e inspiración a otros trabajos que desarrollen el tema de ahorro energético y cuidado del medio ambiente.

1.3.4 Justificación Ambiental

El proyecto se justifica ambientalmente en la generación de electricidad solar utilizando sistemas fotovoltaicos el cual se centra en generación de energías limpias. Es decir es una forma de conservar el medio ambiente, ya que se transforma la energía emanada por el sol en energía eléctrica, contribuyendo poco a poco a aprovechar energías alternativas para así dejar a un lado la transformación de energías convencionales como son las centrales termoeléctricas o las hidroeléctricas que afectan gravemente a la naturaleza.

1.3.5 Justificación Económica

La inversión del sistema solar se recupera en el vigésimo octavo año, y el ahorro logrado en los 30 años de operación es de S/. 2,229.74, justificando así el costo de su inversión. Se demuestra así que a largo plazo el costo de inversión del sistema solar se reduce, haciendo aún más rentable este tipo de proyectos.

1.4 Limitaciones de la investigación

Durante el desarrollo del proyecto de investigación se presentaron distintas limitaciones, que se mostrará a continuación:

- La falta de apoyo de las diversas empresas especializadas en este campo laboral.
- La dificultad de poder conseguir información necesaria de la zona geográfica específica referente al lugar donde se realizó dicha investigación.
- Los altos costos de los diversos equipos que conforman el sistema fotovoltaico.

1.5 Viabilidad de la investigación

La investigación es viable, pues se dispone de recursos necesarios, como por ejemplo:

- Autorización de trabajo en los ambientes ENAMM.
- Disposición de asesores: teórico y metodológico.
- Disponibilidad de materiales y documentos informativos respecto al tema de forma general, es decir de otras zonas geográficas.
- Se tiene el visto bueno por ambos asesores para dicho estudio.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Antecedentes Internacionales

Martínez (2014), hizo un estudio realizado en México, siendo más específico en el Laboratorio de Automatización de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), teniendo como gran problema la existencia de una alta demanda de electricidad en el sistema de alumbrado, debido a que la mayor parte del día las lámparas se encuentran encendidas tanto en pasillos como en las aulas. Ello trajo como consecuencia un alto costo por el pago de la electricidad utilizada. Es por ello que decide realizar una investigación titulada: "Implementación de un sistema de celdas fotovoltaicas para el alumbrado del laboratorio de automatización de la facultad de ingeniería de la UAQ". Para ello tuvo como gran motivación que el país de México tenga una importante radiación solar promedio de 5.9 kWh/m²-día lo que permite que sea una ciudad potencial para el uso paneles fotovoltaicos en la generación de energía eléctrica, debido a sus favorables condiciones geográficas y climáticas, ya que tiene una alta incidencia de radiación solar en la gran mayoría de su superficie.

Después de la implementación de este proyecto obtuvo los siguientes beneficios:

- Es una fuente inagotable de energía.
- Bajos costos de mantenimiento.

- Son sistemas silenciosos, limpios y no afectan el medio ambiente.
- Modularidad fotovoltaica, es decir los módulos pueden ser añadidos gradualmente para incrementar la energía disponible.

Finalmente, concluye que con este estudio se puede ahorrar 40 kWh/día lo que se traduce en un ahorro del 42% con respecto al sistema de iluminación del Laboratorio de Automatización de la UAQ. Por otro lado, esto definitivamente se ve reflejado en un ahorro económico en el pago de electricidad que consume la Facultad de Ingeniería de la UAQ. Cabe mencionar que la inversión inicial es algo elevada, pero su retorno es de mediano a largo plazo, ya que después de recuperar lo invertido, el resto de la energía producida se considera como ganancia. Además, este trabajo sirve de apoyo a otros investigadores del área que tienen como objetivo el mejorar las condiciones de consumo eléctrico en edificios que no fueron diseñados bajo los criterios de confort y ahorro de energía.

Galarza, Rivera y Gordillo (2012) realizaron la investigación titulada "Implementación de energía solar en el puerto de Roma ", desarrollado en Ecuador. En dicha investigación plantearon como principal problema que en la actualidad el Puerto de Roma no cuenta con los servicios de energía eléctrica porque se encuentra en una isla, originando un difícil acceso. De modo que lo recomendable es utilizar distintas alternativas de energías renovables tales como: Energía solar, Energía eólica y Energía Mareomotriz. Justificando esto como gran motivo para realizar un estudio y posteriormente una implementación de energía alternativa como ejemplo se toma a cinco viviendas en dicho recinto. Se tuvo como objetivo principal, diseñar, analizar e implementar un sistema de iluminación mediante energía solar ayudando así a la mejora de la calidad de vida de los pobladores y adicionalmente dio impulso a otros proyectos que fueron de utilidad para el incremento de sistemas de energías renovables, los cuales actualmente están en auge. Finalmente, se concluyó que las familias beneficiadas por este proyecto están satisfechos por los resultados, debido que sus hijos pueden hacer sus tareas hasta altas horas de la noche y ya no caminar largos trayectos para buscar un lugar iluminado. Además, de poder tener uso de equipos de audio,

cargar sus celulares y estar comunicados dando así también seguridad en las noches a las viviendas, ya que se les instaló un foco en la parte exterior.

León (2008), realizó la investigación titulada “Generación eléctrica fotovoltaica en la facultad de ingeniería USAC y estudio del aprovechamiento”, realizado en Guatemala. Para ello se tuvo como motivación la necesidad cotidiana de hacer un balance energético y buscar el equilibrio económico para suplir la necesidad de la demanda energética del sector académico de la Universidad de San Carlos, que requería un monto considerable de energía eléctrica para el uso de sus instalaciones y las cuales en su mayoría requerían de iluminación la mayoría del día. Se planteó así, un estudio de instalación de energía eléctrica renovable y limpia, en uno de los edificios de la mencionada unidad académica. De la cual se obtuvo un marco teórico, el cual presenta conceptos relacionados con energía solar, captación y generación fotovoltaica, con el equipo técnico que debe considerarse para instalar un sistema de paneles fotovoltaicos, así como la relación a la incidencia de radiación solar sobre el área que se considera oportuna, y la sostenibilidad de los proyectos relacionados con energía fotovoltaica. Ello apoyó al diagnóstico de factibilidad para la iluminación del Edificio T – 6, Auditorium Francisco Vela, de la Facultad de Ingeniería, USAC, por medio de generación de energía fotovoltaica, presentando dos opciones de Instalación de Energía Renovable por medio de paneles fotovoltaicos, el cual se clasificó como Proyecto 1: A la Instalación Convencional con uso de acumuladores (Baterías) y Proyecto 2: A la Instalación no Convencional sin uso de acumuladores (Baterías). Se concluyó en el análisis que ambas alternativas no son factibles, en relación a términos financieros. En el plazo de 30 años el Valor Presente Neto para ambos proyectos es negativo, sin embargo el Valor Presente Neto del Proyecto 2, representa el 24.02 % del Valor Presente Neto del Proyecto 1, obteniendo que dicho Proyecto 2 se puede considerar como una alternativa, con consideraciones no necesariamente económicas, como son las relacionadas a producción de Energía Limpia, totalmente amigable al medio ambiente, sobre todo que no usa acumuladores (Baterías), los cuales al desecharse, recurrentemente cada 5 años, y no tener un tratamiento adecuado, contraviene el enfoque medio ambiental.

Rivas (2005), desarrolló una investigación en Venezuela cuyo título es “Diseño y Proyecto de un sistema de iluminación autónomo para espacios exteriores con celdas solares” que tuvo como motivación solventar parte de la electrificación rural, debido a que en este país existen comunidades remotas a las que hasta ahora no se ha podido proveer de electricidad por el difícil acceso a las zonas geográficas en las que se encuentran, por lo que llevar un tendido eléctrico resulta prácticamente imposible. Dicha investigación tuvo como objetivo principal desarrollar un sistema de iluminación totalmente autónomo de la red eléctrica utilizando una fuente de energía alterna, la solar, ya que por su ubicación geográfica, Venezuela dispone de esto a lo largo del año. Como parte de su investigación se desarrolló un sistema de tipo fotovoltaico, para la cual se utilizaron dos paneles solares para convertir luz solar en eléctrica, la cual es almacenada por un banco de baterías que en la noche provee a la luminaria la energía necesaria para generar luz. Para el control de los paneles, baterías y lámparas diseñó un circuito que ejerce las funciones de encendido y apagado de la lámpara, carga y descarga de la batería y configuración de parámetros del sistema. Al desarrollar el proyecto en todas sus fases, desde diseño hasta implementación, se obtuvo resultados óptimos. Al final se concluyó, que el sistema de energía solar no es rentable como sustitución de un sistema de iluminación con energía convencional, sin embargo, vale la pena seguir desarrollando esta área de energía, ya que es una solución al problema de electrificación en zonas de difícil acceso y además es un buen ejemplo de aprovechamiento de un recurso natural sin dañar al ambiente.

Antecedentes Nacionales

Vasquez y Zuñiga (2015), realizaron una investigación titulada “Proyecto de pre factibilidad para la implementación de energía solar fotovoltaica y térmica en el campamento minero Comihuasa” en Perú, donde como principal problema es la falta de interés y preocupación de la minera sobre el medio ambiente. Tiene como objetivos buscar generar energía eléctrica según lo requiera la minera, proponiendo otra alternativa para generar energía eléctrica y no depender de una sola, reduciendo así el gasto mensual por Kwh y a la vez buscando reducir el impacto ambiental. Muchas mineras en el mundo están integrando en sus fuentes de energía eléctrica el uso de paneles solares y como ejemplos muy cercanos se tiene a las mineras “CODELCO” y “COYAHUASI” en Chile. Finalmente la investigación tuvo las siguientes conclusiones:

- En el Perú está aumentando el interés sobre el desarrollo de energía solar, la cual es otra solución en uso de energía renovable.
- El uso de este sistema de generación de energía tiene un impacto positivo sobre los niveles sociales, económicos y ambientales.

Valdiviezo (2014), hizo un estudio desarrollado en Perú, el cual indicó que cada día se registran niveles más alarmantes de contaminación en el medio ambiente, esto se debe principalmente a la generación de energía mediante métodos convencionales, los cuales generan altas cantidades de CO₂, y así disminuyen la calidad del aire que consumimos y dañan irremediamente la capa de ozono. Por ello, el estudio indica la necesidad pública del desarrollo de nueva generación eléctrica mediante el uso de Recursos Energéticos Renovables (RER), dentro de las cuales, destaca la energía fotovoltaica. En su estudio titulado “Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP”. Se tuvo como objetivo principal fomentar el interés e investigación en energía renovable por parte de la comunidad con estudios superiores, mediante el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer a 15 computadoras portátiles en la PUCP. Para el estudio fue

necesario conocer los conceptos más relevantes, los principales fundamentos teóricos y las características de los equipos que conforman una instalación fotovoltaica aislada, y se utilizó bibliografía de autores con presencia en la industria fotovoltaica. Además, se elaboró una lista de exigencias, recopilación de condiciones sobre el sitio, obtenidos de la Estación climatológica Hipólito Unanue en la PUCP y se estimó la demanda del consumo energético. Finalmente, se realizó una evaluación de los costos involucrados.

Se tuvo como conclusión: La factibilidad del proyecto no debe ser una decisión netamente económica. Se deben tomar en cuenta varios factores como los citados a continuación:

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
- Fomentar el interés del uso e investigación de los recursos energéticos renovables (RER).
- Estrategia de marketing institucional.

Piriz (2013), elaboró su investigación “Energía solar térmica y fotovoltaica aislada para pequeñas comunidades”, desarrollado en Perú. Su estudio tiene el propósito de fomentar el ahorro de energía y la eficiencia energética, mediante un prototipo demostrativo de iluminación y calefacción de agua con energía solar. La investigación tuvo como objetivo secundario la transferencia del conocimiento y la sensibilización de la sociedad civil en el uso de la energía solar y térmica. La metodología usada en esta tesis se compone de una parte teórica investigativa y otra práctica. En primera medida las bases teóricas son de gran sostenibilidad, las cuales comienzan a encaminar una propuesta de proyecto investigativo. El siguiente paso es la profundización de temas puntuales relacionados en energía solar fotovoltaica y térmica, incidencia solar, eficiencia de los equipos. Y la metodología práctica donde se aplica todos los conocimientos, conceptos y bases teóricas aprendidas en la investigación realizada. Se llegó a algunas conclusiones tales como:

- La implementación del prototipo ha demostrado que la energía fotovoltaica aislada es una opción viable para comunidades que no tienen acceso a redes eléctricas, ubicadas en Lima (región de la costa).
- En cuanto a las termas solares, en ciudades de la región andina de Perú son utilizadas desde hace varios años, mientras que en zonas de la costa y de la selva no se usaban. En el trabajo mencionado se comprobó que también en estas zonas, es muy eficiente desde el punto de vista de ahorro energético.
- La sensibilización a la sociedad civil en proyectos de energía renovable es muy importante, pues se puede incrementar el número de usuarios así como pequeñas empresas que ejecuten este tipo de proyectos, creándose una verdadera oportunidad de desarrollo económico local.

Muñoz (2005), realizó un estudio en el Perú donde la demografía hace muy complicada la instalación del sistema eléctrico interconectado y a la vez muy elevado el costo para las personas de estas localidades rurales. La falta de información de los pobladores de estas localidades hace que no exista un espacio favorable para la actividad privada que hace que el estado tenga intervención en ella. En su estudio titulado “Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país” tiene con objetivo principal informar lo importante y fiable que es el uso de energía solar mediante los sistemas fotovoltaicos para solucionar la falta de energía eléctrica especialmente en las zonas rurales donde no llega el sistema interconectado nacional. Para la aplicación de este sistema se está considerando métodos técnicos y análisis económicos muy importantes para la realización del plan y así mejorar el desarrollo eléctrico de estas zonas rurales que no cuentan con este beneficio. Se obtuvo como conclusión varios beneficios de uso de energía solar:

- El uso inagotable del sol, energía no contaminante y renovable.
- Las desventajas no son tomadas en cuenta considerando el gran beneficio de la energía solar.

2.2 Orientación profesional

A medida que la tecnología ha aumentado el ámbito marítimo no le ha sido esquivo a este, ya que en tierra ya se están implementando el uso de paneles solares para generación de energía eléctrica con resultados muy favorables.

Es por eso que algunas empresas ya están implementando este método de generación eléctrica en sus naves, y como ejemplo de ellos tenemos algunos casos:

1. EL BUQUE DE CARGA AURIGA LEADER:

El buque de transporte de automóviles (PCC) Auriga Leader, construido en 2008 en el astillero Kobe Shipyard & Machinery Works de Japón, perteneciente a la Mitsubishi Heavy Industries, fue concebido como un experimento para probar la eficiencia de la energía solar como fuente de energía alternativa en los buques. En 2009 fue elegido como Ship of the Year en los Lloyd's List Global Awards.

Las compañías japonesas Nippon Yusen Kabushiki Kaisha y Nippon Oil Corporation invirtieron en 2008 casi dos millones de euros en instalar 328 paneles solares sobre la cubierta del Auriga Leader, para intentar reducir el consumo de combustible y recortar las emisiones de CO₂ del buque (Oliveira, 2015).



Figura 1. Diagrama de distribución de energía generado por el sistema fotovoltaico

Fuente: <https://vadebarcos.net/2015/11/21/auriga-leader-el-primer-carguero-ayudado-por-energia-solar/>



Figura 2. Vista lejana del buque de carga Auriga Leader

Fuente:<http://www.marineinsight.com/types-of-ships/auriga-leader-the-worlds-first-partially-propelled-cargo-ship/>



Figura 3. Vista cercana de los paneles solares sobre la cubierta del buque Auriga Leader

Fuente:<http://www.marineinsight.com/types-of-ships/auriga-leader-the-worlds-first-partially-propelled-cargo-ship/>

2. CATAMARÁN SOLEMAR:

El Solemar es un catamarán solar de 80 pasajeros creado por el astillero Seacleaner Trawler, con sede en Mallorca. Sus 16 placas solares ubicadas en el techo le proporcionan toda la energía y alimentan a 24 baterías para garantizarle unas 150 horas sin necesidad de luz. Sus ventajas son: no emite residuos de petróleo, ni dióxido de carbono (CO₂), ni ruido y la energía solar es gratis. Su precio es de 240.000 euros sin IGV (Fernández, 2012).

3. CATAMARÁN SUN21:

El Sun21 entró en el libro Guinness de los Records como el barco más rápido en cruzar el Océano Atlántico impulsado con energía solar. Este catamarán de 20 personas y 14 metros de eslora tiene una velocidad media similar a la de un velero de 12 km/h (Fernández, 2012).

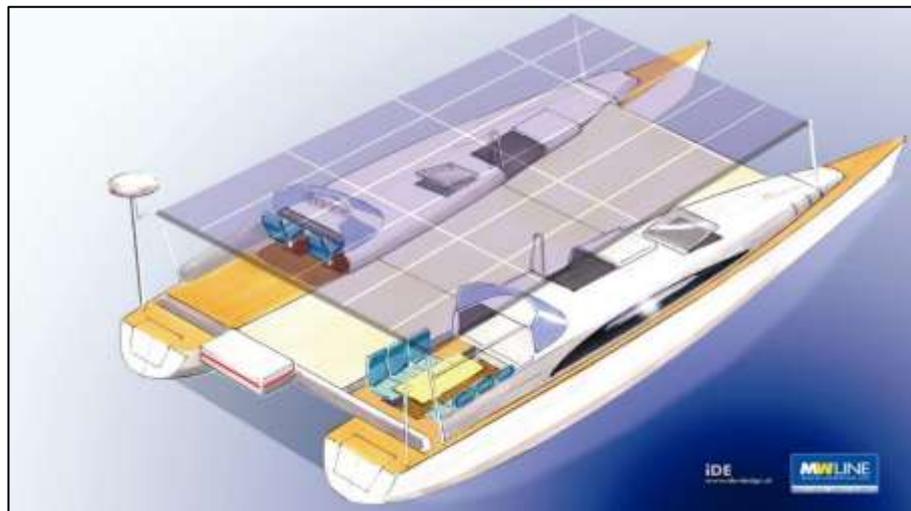


Figura 4. Vista virtual del catamarán Sun21

Fuente: <http://www.transatlantic21.org/boat/>

4. YATE SOLARSAILS:

Ha sido creado por la empresa australiana SolarSailor, tiene como característica que sus paneles tienen modelo de vela, que aprovechan la energía del sol y la del viento, también utilizan una tecnología híbrida con motores eléctricos y de combustión convencionales (Fernández, 2012).

5. BARCO SOLAR SHUTTLE:

Ha sido creado por la empresa SolarLab especializada en diseños innovadores de energía solar con sede en Londres; creando un total de 50 "Solar Shuttle", con tamaños variados para entre 40 y 255 pasajeros, y que surcan desde hace varios años las aguas de países de todo el mundo (Fernández, 2012).

6. BARCO SOLAR THE LOON:

The Loon es un pequeño barco casero de ocho plazas, obra del ingeniero mecánico Monte Gisborne. Su techo está cubierto de placas solares que le proporcionan 738 vatios y dispone de ocho baterías como fuente de energía extra. De esta manera, según Gisborne, el barco puede recorrer unos 16 kilómetros con el sol, y entre 48 y 65 con el apoyo de las baterías (Fernández, 2012).

7. CATAMARÁN TURANOR:

Ha sido creado por el suizo Raphael Domjan, cumpliendo así su sueño de crear el primer barco que da la vuelta al mundo únicamente con energía solar. Este catamarán de hidrodinámicas líneas dispone de 703 paneles solares por toda su cubierta, baterías de alta capacidad a prueba de agua salada o sistemas de navegación para aprovechar al máximo la luz solar (Fernández, 2012).



Figura 5. Vista de frente del catamarán Turanor

Fuente:<http://www.network54.com/Forum/424840/thread/1337174743/MS+Turanor+PlanetSolar+returns+to+Monaco+after+trip+around+the+world>

8. EL FERRY TEXELSTROOM:

El ferry de doble proa Texelstroom, entregado en 2016 por La Naval a la armadora holandesa TESO, transporta 340 coches y 1.750 pasajeros a la vez.

Para ello, el buque combina diferentes fuentes de energía: 700 paneles solares instalados en su cubierta, motores híbridos a gas y diésel, y baterías que se cargan con la energía generada por los motores, los paneles o directamente enchufadas a la red durante la noche. Todo ello hace que el Texelstroom tenga un impacto ambiental menor que otros ferrys similares (Oliveira, 2016)



Figura 6. Vista lejana del Ferry TexelStroom

Fuente: http://www.eldiario.es/norte/euskadi/Naval-Holanda-Ferry-Texelstroom-generacion_0_546995459.html

Estos ejemplos de naves que utilizan energía eléctrica han navegado con gran normalidad, cabe decir que son claros ejemplos que este nuevo sistema tiene buenos resultados en el ámbito marítimo.

Es necesario adicionar que estas naves normalmente utilizan energía generada por la quema de combustibles, por lo tanto al implementar este nuevo sistema de generación eléctrica se estaría evitando la emanación de gases contaminantes y ayudando al cuidado del medio ambiente.

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Energía renovable

La energía renovable es aquella forma o fuente de energía que se obtiene continuamente de forma natural y que no se agota. Además, es una fuente de energía amigable, ya que contribuye al cuidado del medio ambiente; se le conoce también como energía limpia, porque no produce gases contaminantes. Esta es una fuente originaria de energía, debido a que la encontramos en casi todo el planeta. Por ello son una gran alternativa frente a los efectos contaminantes y el agotamiento de los combustibles fósiles (Fernando, 2015).

Así mismo existen diversas formas de energía renovable, los cuales son:

1. Eólica:

Es aquella que proviene del viento.

2. Mareomotriz:

Es aquella que se genera a través del movimiento de las olas.

3. Hidroeléctrica:

Es aquella que se genera por medio de las caídas de agua o cascadas.

4. Solar:

Es aquella que se obtiene a partir de la energía proveniente del sol, en forma de rayos solares.

2.2.2 Energía renovable solar

La energía solar es la potencia radiante producida por el Sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión, que llegan a la Tierra por medio de ondas electromagnéticas presentes en los rayos solares, las cuales son generadas en forma continua y emitida permanentemente al espacio. Esta energía se puede percibir en forma de luz y calor, se caracteriza por ser una fuente de energía renovable, inagotable, limpia, sustentable y que se encuentra en todo el mundo sin dependencias externas de ningún tipo. Además esta tiene la ventaja de generar electricidad en el mismo lugar del consumo, pero para producirla se requiere del uso de dispositivos que capten la energía solar y la transformen en otra energía compatible (Rodríguez, 2008).

Adicionalmente, esta es una fuente de vida y origen de la mayoría de las formas de energía en la tierra. A su vez este tipo de energía representa el mejor modelo característico de fuente renovable.

Las aplicaciones que nos puede ofrecer son: (La energía Solar, s.f).

1. Luz:

Es la energía que recibimos directamente y es llamada energía luminosa.

2. Calor:

Por medio de colectores térmicos, la energía solar es transformada en energía térmica.

3. Electricidad:

Se logra a través de las llamadas celdas solares, la energía luminosa puede ser transformada en energía eléctrica.

2.2.2.1 Irradiancia

Término que se usa para determinar la cantidad de energía que se capta en un área y tiempo, la cantidad de radiación solar que cae en una superficie terrestre. “La irradiancia es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética”. Por lo contrario no hay un valor único de Irradiancia debido a que la distancia Tierra-Sol no es constante además que la Radiación Solar disminuye o aumenta con la distancia a través de la Ley del Universo y la trayectoria elíptica Tierra-Sol. Entonces la irradiancia es la Potencia de la radiación incidente sobre una superficie por lo que la Unidad de la Irradiancia es igual a kW/m^2 . Por ultimo note la diferencia con el término “Irradiación” que es la energía por unidad de superficie: KWh/m^2 . (Varela, 2000)

2.2.2.2 Irradiación

Es la acumulación de energía promedio que incide sobre la unidad de área durante un tiempo de periodo dado, es decir es la misma irradiancia pero considerando un tiempo promedio de permanencia sobre una superficie, se usa la letra (I) para indicar la insolación horaria y (H) para la insolación que incide en un día. Las unidades que se emplean para este concepto son las unidades de energía por unidades de área. (Varela, 2000)

Tenemos así en el Sistema Internacional (SI), las siguientes unidades de irradiación:

- Langley (cal/cm^2)
- MJ/m^2
- BTU/ft^2
- KWh/m^2

2.2.2.3 Energía fotovoltaica

El fundamento de energía solar fotovoltaica es el efecto fotoeléctrico o foto-voltaico, que consiste en captar las radiaciones luminosas del sol y transformarla en un tipo de electricidad (energía eléctrica); a través de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. La energía fotovoltaica permite producir electricidad para redes de distribución, abastecer viviendas aisladas y alimentar todo tipo de aparatos. Por otra parte la transformación directa de energía solar a energía eléctrica se desarrolla en un equipo llamado panel o módulo fotovoltaico, el cual son placas de forma rectangular formada por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado. (De León, 2008)

2.2.2.4 Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. Para entender como sucede hay que saber que la luz solar está compuesta de diferentes tipos de partículas llamadas fotones, los cuales están compuestos por diferentes tipos de energía, desde luz ultravioleta, luz visible, luz infrarroja, rayos gamma y rayos x. El silicio se presenta normalmente como arena, obteniéndose a través de métodos adecuados el silicio en forma pura. El cristal de silicio puro no posee electrones libres y por tanto es un mal conductor eléctrico; para alterar esto, se añaden porcentajes de otros elementos, denominándose dopado a este proceso. Mediante el dopado del silicio con el fósforo se obtiene un material con electrones libres o portador de carga negativa (silicio tipo N). Realizando el mismo proceso, pero añadiendo boro en vez de fósforo, se obtiene un material con características inversas, o sea, déficit de electrones o material con cargas positivas libres (silicio tipo P).

Cada célula solar se compone de una capa fina de material tipo N y otra con mayor espesor de material tipo P. Separadamente, ambas capas son eléctricamente neutras. Pero si son unidas, exactamente la unión P-N, se genera un campo eléctrico debido a los electrones del silicio tipo N que ocupan los huecos de la estructura del silicio tipo P. Al incidir la luz sobre la célula fotovoltaica, los fotones que la integran chocan con los electrones de la estructura del silicio dándoles energía y transformándolos en conductores. Debido al campo eléctrico generado en la unión P-N, los electrones son orientados y fluyen de la capa "P" a la capa "N". Por medio de un conductor externo, se conecta la capa negativa a la positiva. Se genera así un flujo de electrones (corriente eléctrica) en la conexión, el cual se mantendrá mientras la luz continúe incidiendo en la célula. La intensidad de la corriente generada variará proporcionalmente conforme a la intensidad de la luz incidente (Efecto fotovoltaico, 2016).

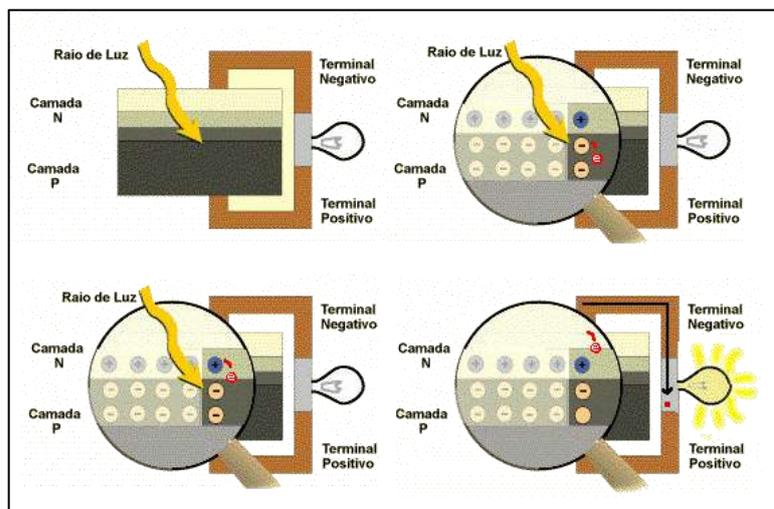


Figura 8. Proceso del efecto fotovoltaico

Fuente: <http://www.oocities.org/institutoingefor/construccion/construccion/efectofotovoltaico>

2.2.3 Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que, a partir de la radiación solar, produce energía eléctrica en condiciones de ser aprovechada por el hombre. El sistema consta de los siguientes elementos: inversor, acumulador, regulador y módulos o paneles fotovoltaicos. Por otro lado un sistema fotovoltaico tiene cuatro funcionalidades importantes. Captar la radiación luminosa procedente del sol y la transforman en corriente continua a baja tensión (12 ó 24 V). Luego almacenar la energía producida por medio de la batería y poder disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados. Proveer adecuadamente la energía producida y almacenada a través del inversor y utilizar eficientemente la energía producida almacenada en las diversas aplicaciones laborales (Energía Solar, 2010).

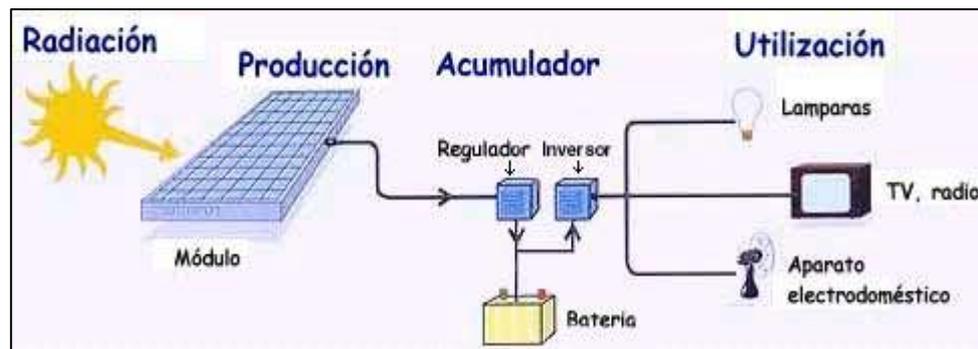


Figura 9. Esquema simple de un sistema fotovoltaico

Fuente: http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/imagenes/16_paneles_2.jpg

2.2.3.1 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la transforman en energía eléctrica. Por supuesto para cada aplicación o necesidad se considera un sistema diferente, con componentes diferentes.

Existen tres tipos de sistemas fotovoltaicos: (Sistema Fotovoltáico, s.f).

1. Sistema fotovoltaico aislado:

Están constituidos por las celdas solares quienes son el motor o generador para la producción de energía, esta energía producida por los paneles solares se deben acumular o almacenar en baterías, ya que servirán para distribuir la energía almacenada en su interior, para luego redirigirse a nuestros electrodomésticos y bombillos en el hogar.

Este tipo de instalación solar se puede utilizar en el día y en la noche, días en donde hay poca radiación solar, alta nubosidad o días muy despejados, teniendo siempre energía disponible. Los sistemas autónomos son muy utilizados en regiones apartadas a las ciudades y lugares sin suministro energético, brindando múltiples beneficios a quien la utiliza. Es importante citar, que también podemos utilizar este sistema en ciudades o regiones donde hay suministro energético, esto con el fin de beneficiarnos en la reducción de nuestro consumo energético y disminución en el cobro del recibo de energía.

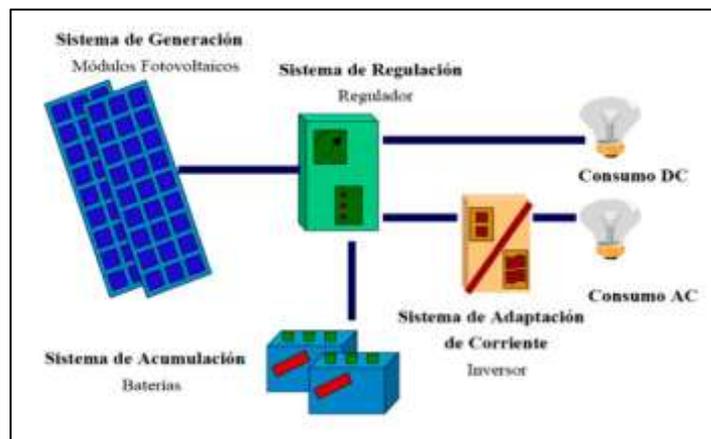


Figura 10. Esquema del sistema fotovoltaico autónomo

Fuente: <http://www.aldar.com.ar/imagenes/productos/energia-solar/09.jpg>

2. Sistema fotovoltaico conectado a red:

Son sistemas muy atractivos para zonas urbanizadas cercanas a la red eléctrica, tanto en grandes o pequeñas ciudades y sirve para el aprovechamiento de energía en el día. Estos sistemas producen la energía por los paneles solares, pero estos no necesitan de acumuladores de energía, ya que mediante un inversor que convierte la energía producida por los paneles la entrega a la red eléctrica convencional (esa misma que llega a tu casa), produciéndose así un intercambio de energía entre el sistema fotovoltaico y la red eléctrica. El sistema fotovoltaico inyecta energía a la red eléctrica cuando su producción supera el consumo y a su vez se extrae energía de ella cuando se necesita.

Este tipo de sistemas genera múltiples beneficios económicos, ya que son sistemas más baratos, porque no necesitan baterías ni reguladores de carga, solamente un inversor quien convierte el voltaje producido por los paneles solares y la convierte al voltaje con la cual trabaja nuestra red.

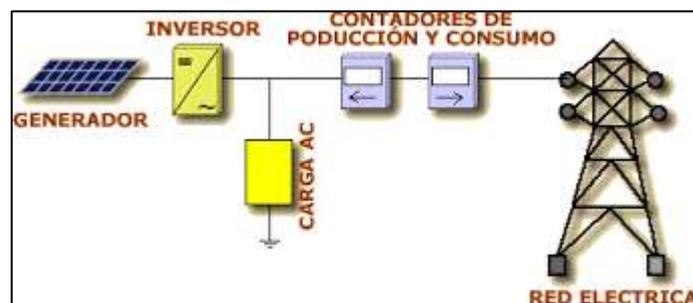


Figura 11. Esquema del sistema fotovoltaico conectado a red

Fuente: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9Gc-Yus-s8e>

3. Sistema fotovoltaico híbrido:

Este sistema, además de contar con las placas fotovoltaicas para recoger energía utilizan algún otro sistema para generar energía, es decir, usar otra energía auxiliar, tal como: un generador diésel, hidráulico, eólico. De este modo garantizan el suministro eléctrico.



Figura 12. Esquema del sistema fotovoltaico híbrido

Fuente: <http://1.bp.blogspot.com/-M7nl/AA4t4W/s1600/nuevo-2+espanol.jpg>

2.2.3.2 Componentes de un sistema fotovoltaico

2.2.3.2.1 Módulo o panel fotovoltaico

Se denomina al grupo de celdas fotovoltaicas que tienen la función de transformar la luz solar en energía eléctrica, aprovechando el efecto fotovoltaico. Así también, los paneles fotovoltaicos pueden estar conectados como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado, también se conectan como circuito en paralelo para aumentar la corriente eléctrica. Además el tipo de corriente eléctrica que proporcionan es corriente continua (Paneles Fotovoltaicos: Concepto y tipos, 2013).

2.2.3.2.1.1 Tipos de celdas fotovoltaicas

El material más utilizado para fabricar celdas fotovoltaicas es el silicio. De acuerdo a las técnicas o métodos de fabricación empleadas las celdas de silicio se pueden dividir en diversos grupos, pero son tres los más usados y de mayor eficiencia, los cuales son: (Los paneles solares fotovoltaicos, 2013).

1. Celdas de silicio monocristalino:

La fabricación de éste tipo de celdas consiste en fabricar barras cilíndricas de silicio perfectamente cristalizado (un solo cristal de silicio), en hornos especiales a aproximadamente 1400°C y luego cortarlas obteniendo obleas delgadas (celdas) de entre 0,4 y 0,5mm de espesor. Son las que presentan máxima eficiencia, debido a que en el laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% y en el uso comercial el 16%. Por eso son las más costosas debido a que su proceso de fabricación es el más complejo.



Figura 13. Panel fotovoltaico monocristalino

Fuente: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/celdas-monocristalinas.jpg>

2. Celdas de silicio policristalino:

La fabricación de este tipo de celdas consiste en fundir trozos de silicio puro que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales, es decir, los átomos no se organizan en un único cristal sino que por el contrario se obtiene un material policristalino. Luego se deja enfriar hasta que el producto esté totalmente solidificado y después se procede a cortar las obleas de dicho material obteniendo las celdas. Este tipo de celda es visualmente reconocible por presentar una superficie con aspecto granulado. Además este proceso de fabricación es menos complejo que el de las celdas monocristalinas, esto se refiere a menos costo por celda pero también a menor eficiencia; en laboratorio se alcanzó un 19.8% y en uso comercial el 15% de eficiencia.



Figura 14. Panel fotovoltaico policristalino

Fuente: http://www.insolarz.com/catalogo/paneles_solares.png

3. Celda de silicio amorfo:

La fabricación de este tipo de celdas consiste en depositar una película muy delgada de silicio amorfo (no cristalino) sobre superficies de vidrio, metal y otras variedades de superficie. Las películas finas también son fabricadas con otros materiales, tales como seleniuro de cobre e indio, telurio de cadmio, arseniuro de galio, entre otros. Paneles de este tipo de celda son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% y en uso comercial 8% de eficiencia. Debido a su fabricación es el más barato.



Figura 15. Panel fotovoltaico amorfo

Fuente: <http://antusol.webcindario.com/amorfo.jpg>

2.2.3.2.1.2 Rendimiento de eficiencia de los diversos paneles fotovoltaicos

El rendimiento de eficiencia de las celdas solares en los diversos paneles fotovoltaicos es esencial en cuanto a la elaboración de un sistema fotovoltaico, de acuerdo a la zona geográfica donde se va emplear, ya que con estos datos se puede reducir el costo del sistema, debido que su eficiencia está en relación a su costo.

Con relación a lo anterior, actualmente en Perú las principales tecnologías que se comercializan son: Panel de silicio monocristalino, policristalino y de amorfo (Piriz, 2013).

Tabla 1

Eficiencia de diversas celdas solares

Tecnología	Símbolo	Características	Eficiencia de celdas en laboratorio (%)	Eficiencia típica en módulos comerciales
Silicio monocristalino	sc - Si	tipo oblea	24	(13 – 15)
Silicio policristalino	mc - Si	tipo oblea	19	(12 – 14)
Película de silicio cristalino sobre cerámica	f - Si	tipo oblea	17	(8 – 11)
Película de silicio cristalino sobre vidrio		película delgada	9	
Silicio amorfo (incluye tandems silicio – germanio)	a - Si	película delgada	13	(6 – 9)
Diseleniuro de cobre – indio / galios	CIGS	película delgada	18	(8 – 11)
Telurio de cadmio	Cdte	película delgada	18	(7 – 10)

Fuente: Energía solar fotovoltaica aislada para pequeñas comunidades en Perú. (2013)

2.2.3.2.2 Regulador de carga

El regulador es el encargado de controlar los procesos de carga y descarga de la batería. Las principales tareas que realiza son las siguientes: (Pareja, 2010).

- Evita sobrecargas en la batería, es decir, una vez cargada la batería al 100% no continúe cargando. Así se evita la generación de gases y aumenta la vida de la misma.
- Impide sobredescarga de la batería en los periodos de luz solar insuficiente, es decir, cuando la batería este descargada no continúe suministrando corriente a la instalación. Así se aumenta la vida de la batería.
- Asegura el funcionamiento del sistema en el punto de máxima eficacia.

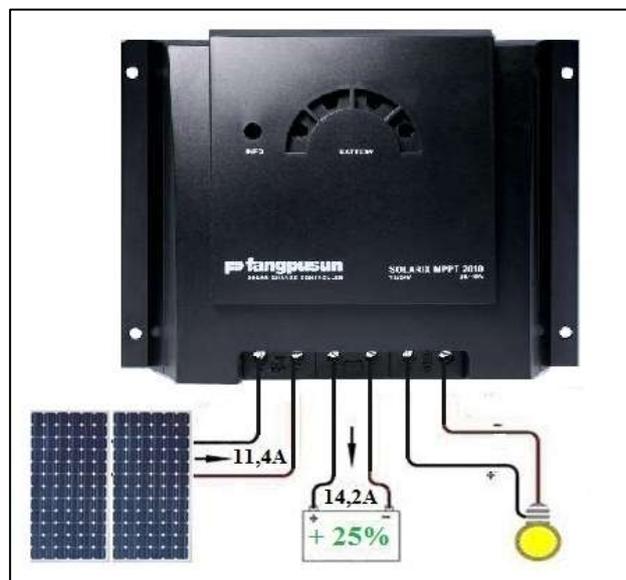


Figura 16. Regulador de carga

Fuente: <http://solar-energia.net/media/fotovoltaica/elementos/regulador-carga.jpg>

2.2.3.2.3 Acumulador o batería

La energía producida por el campo fotovoltaico se caracteriza por su variabilidad tanto diaria como estacional y, además, su aleatoriedad. Esto afecta negativamente a la disponibilidad de la energía y, consiguientemente, a su autonomía. Para evitar este inconveniente es necesario incluir en el sistema los acumuladores eléctricos o baterías (Pareja, 2010).

El uso de acumuladores eléctricos, o batería, permite:

- Dotar al sistema de una fuente eléctrica independiente de las condiciones de radiación solar existentes.
- Dotar al sistema de una autonomía de servicio de los módulos fotovoltaicos.
- Dotar al sistema de cierta capacidad de intensidad superior a la nominal.
- Dotar al sistema de condiciones de estabilidad en la tensión, aceptables para los elementos de consumo.

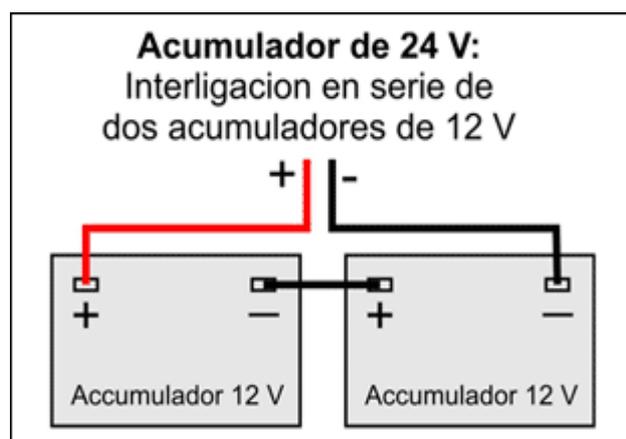


Figura 17. Baterías en serie

Fuente: http://deltavolt.pe/images/bateria_plomo.jpg



Figura 18. Batería o acumulador

Fuente: <http://www.riosolar.com/img/Serienschaltung-Batterie.gif>

2.2.3.2.4 Convertidor

Su función es alterar la tensión y características de la intensidad que reciben convirtiéndola a la adecuada para los usos que necesiten (suministros). Existen diferentes clases de convertidores: cc/cc, ca/cc, ac/cc, cc/ac (Pareja, 2010). Cabe decir que el más utilizado en una instalación fotovoltaica aislada es el del tipo cc/ac, que convierte la tensión del banco de batería a consumos de corriente alterna. A este tipo de reguladores se les suele denominar inversores. Los de tipo ca/cc y ca/ca no se utilizan en instalaciones solares fotovoltaicas aisladas.



Figura 19. Convertidor o Inversor

Fuente: <https://ae01.alicdn.com/DC-24V-to-AC-220V.jpg>

2.2.4 Medición de la energía solar

La intensidad del flujo energético solar que incide en la tierra depende de la latitud del sitio: mientras más cerca del Ecuador, la luz incide de forma más perpendicular en la tierra, es decir con una intensidad más alta. Por otro lado, la intensidad varía según la época del año, el momento del día y las condiciones atmosféricas. La magnitud que describe la intensidad de la radiación solar, se conoce como radiancia o irradiancia y se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). En términos populares también se dice brillo solar, cabe decir entonces que la radiación es la energía solar que incide en una placa plana de un metro cuadrado (De León, 2008).

También se indica que fuera de la atmósfera, la irradiancia tiene un valor aproximado de $1,354 W/m^2$ con variaciones de alrededor de $50 W/m^2$ según varía la distancia entre la tierra y el sol. Cuando el cielo está completamente despejado, la irradiancia en el suelo terrestre es de alrededor de $1,000 W/m^2$. Es decir que la cuarta parte de la energía procedente del sol es amortiguada por la atmósfera. Así mismo, se entiende por radiación solar al promedio diario de la irradiancia que incide sobre una superficie plana de un metro cuadrado. Entonces la radiación se mide entonces en vatio-horas por metro cuadrado (Wh/m^2). Cabe decir que para el diseño técnico de la mayoría de los sistemas solares, la radiación proporciona el dato más importante, porque representa la energía que se puede aprovechar. En cuanto al potencial de la radiación solar incidente en Perú, se ha determinado un valor promedio de 3.64 kilovatios/ $m^2/día$.

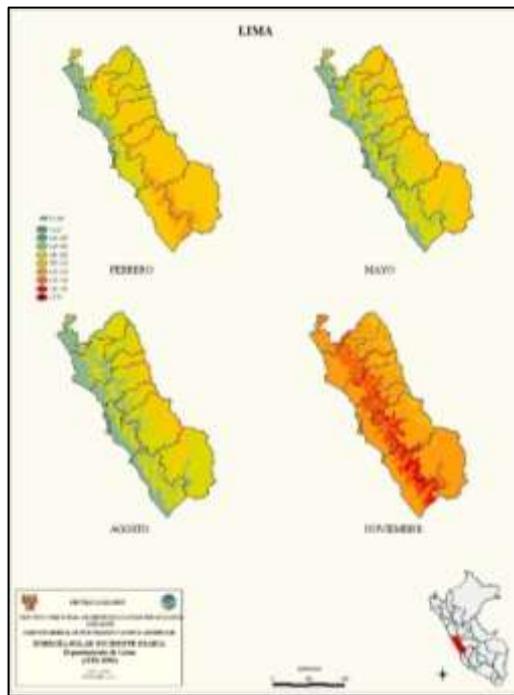


Figura 20. Distribución de la radiación sobre la superficie de Lima-Perú

Fuente: <http://deltavolt.pe/phocadownload/Lima-Callao.jpg>

2.2.5 Aprovechamiento de radiación solar

Perú, país tropical de América del Sur, ubicado a 10° debajo de la Línea Ecuatorial recibe constantemente a través de todo el año gran cantidad de radiación solar, lo cual ayuda a tener una grandiosa vegetación y fauna. Debido a que cada año el consumo de energía aumenta aproximadamente en un 10%, surge como objetivo de llevar una alternativa para la generación de energía eléctrica, en este caso, la instalación de un sistema fotovoltaico.

En esta investigación se establece la factibilidad económica de un sistema fotovoltaico, en comparación con el consumo, especificando, que la instalación de paneles solares tiene una inversión inicial que supera mayormente a otros tipos de instalaciones de generadores de energía eléctrica. Teniendo en cuenta la vida útil de los paneles solares, que es de 30 años aproximadamente y a la vez que tiene un bajo mantenimiento, esta inversión inicial diluida durante estos 30 años, representará un proyecto de muy bajo costo.

Fortaleciendo al uso de energía renovable solar, se tiene que:

- Es energía renovable propiamente dicho.
- No se acaban.
- Son saludables por lo que no contaminan al medio ambiente.
- Se dispone de una luz de mejor calidad.

El área para estas instalaciones, pueden variar debido a su escala, los de mayor medida se pueden ubicar en áreas como campos y los de menor medida en techos, terrazas de viviendas o edificios. La ciudad de Lima está a una altura de 154 msnm, y con una variación de declinación solar en todo el país, a través del año entre -23.5° y $+23.5^{\circ}$, lo cual permite que reciba radiación solar a media intensidad; característica que desea aprovecharse para desarrollar la energía solar como fuente de energía alterna justificándose únicamente para el uso de iluminación más no otra aplicación. (De León, 2008)

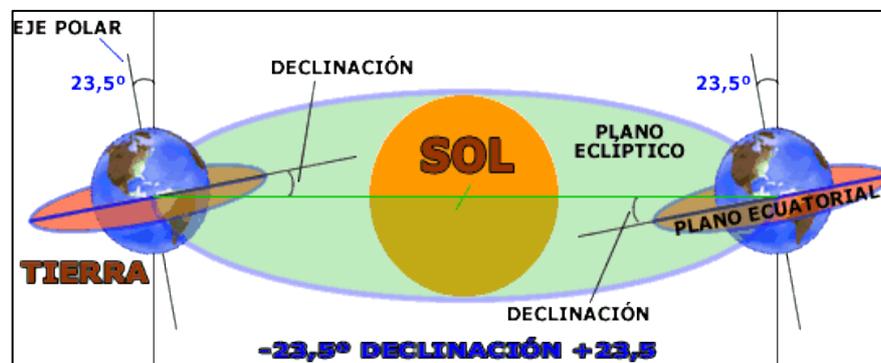


Figura 21. Declinación solar del Perú

Fuente: <https://www.ujaen.es/investiga/solar/images/declinacion.gif>

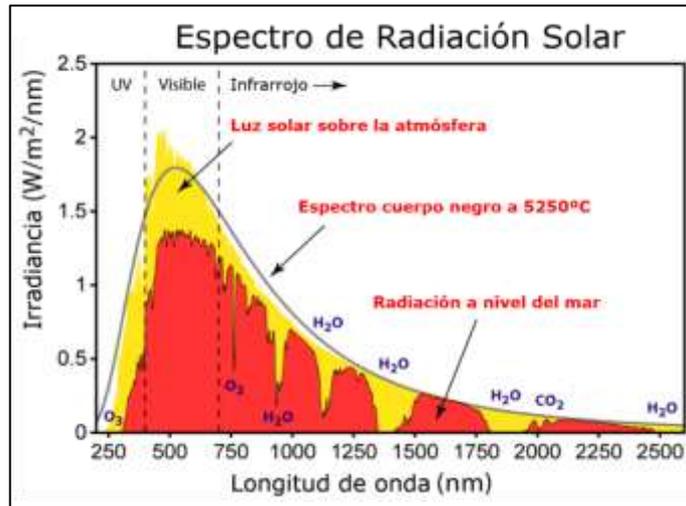


Figura 22. Irradiancia vs Metros sobre el nivel del mar (msnm)

Fuente: <http://www.phinet.cl/Espectro-radiaci%C3%B3n-Solar-Editado-de-Wikipedia.png>

La ENAMM (Escuela Nacional de Marina Mercante) está ubicada en la Av. Progreso 632 Chucuito – Callao (Lima). Su consumo promedio de energía eléctrica es alrededor de 38334.00 kWh, lo que corresponde a un gasto mensual de S/.17,007.50.

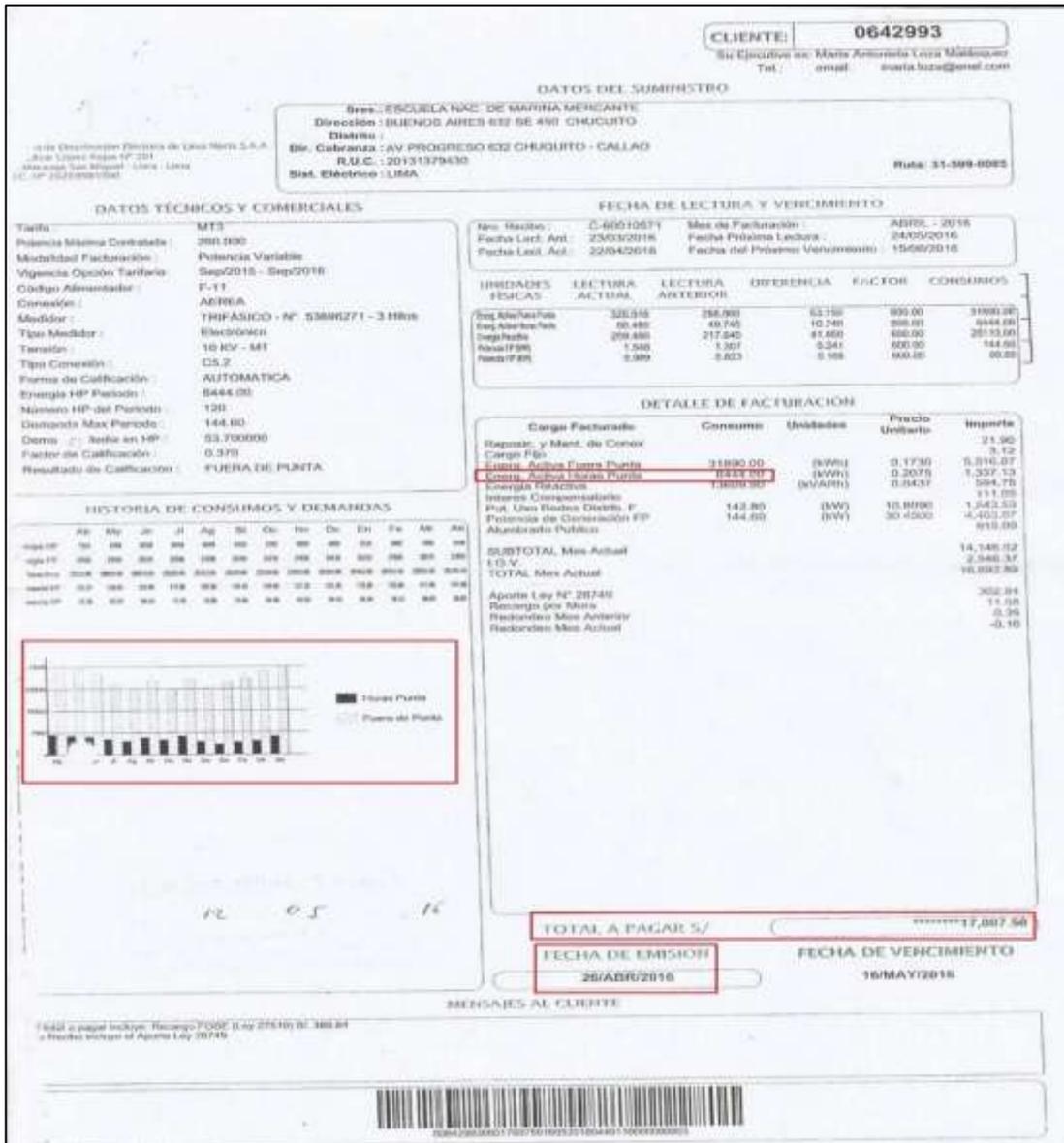


Figura 23. Recibo eléctrico del mes de Abril de ENAMM

Fuente: ENAMM (Escuela Nacional de Marina Mercante)

Considerando todo lo anterior, y tomando en cuenta que la ENAMM demanda gran cantidad de energía eléctrica, este estudio nace con la finalidad de sustentar la posibilidad de instalación de un sistema de energía renovable alternativo; tomando como modelo una parte de la infraestructura de la escuela y mostrando sus conclusiones al finalizar.

2.2.6 Condiciones y entorno

Las condiciones de entorno para la instalación en Perú son pocas, por ser un país tropical donde la radiación solar es comúnmente constante durante todo el año. Lo ideal es hacer un diseño adecuado para asegurar el sistema, y protegerlo en épocas de lluvias, así como en la época de invierno, lo que provoca que en el país entren vientos fuertes. Además que la ENAMM se encuentra muy cerca del mar por ende está en contacto con las fuertes olas que traen como consecuencia constante viento, aún mayor en la época de invierno, lo que podría mover o quitar algunos dispositivos del sistema.

El otro punto a tomar en cuenta es que los paneles solares queden en lugares totalmente descubiertos, sin objetos cercanos que originen sombra sobre los módulos o paneles, e interfiriendo el arribo de los rayos solares (De León, 2008).

2.2.7 Orientación de un panel fotovoltaico

Para que el panel fotovoltaico funcione a su máxima potencia, es necesario su orientación, así como los siguientes aspectos: la dirección de los rayos solares, la zona geográfica donde se instalarán los paneles solares (altitud, longitud y latitud). Entonces se recomienda que los módulos o paneles solares del hemisferio norte, que comprende a Norteamérica, el Ártico, parte de África y Asia, estén dirigidos hacia el sur. Mientras que en las regiones de Sudamérica, el sur de África, Australia y Oceanía, que son parte del hemisferio sur, se recomienda que los paneles solares se encuentren dirigidos al norte.

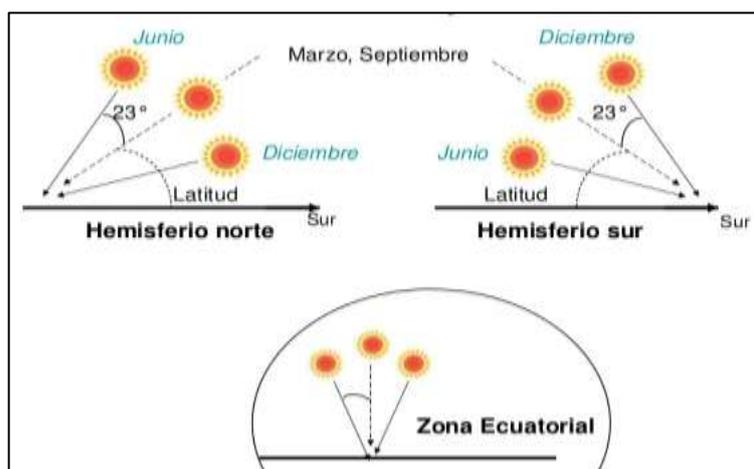


Figura 24. Orientación de panel fotovoltaico

Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/sistemasfotovoltaicossimposiosolar>

También se debe poner atención en donde se sitúan los paneles solares, ya que se puede generar un cambio mínimo en la captación de los rayos solares, debido a la aparición de alguna sombra. Esto puede ser posible debido a los factores de cambio de las estaciones del año o por algún objeto extraño. (¿Qué inclinación debe tener un panel solar?, 2014)

2.2.8 Ángulo de inclinación de un panel fotovoltaico

Según Quintanilla el ángulo de inclinación de un panel fotovoltaico varía de acuerdo a la latitud en la que esté ubicado y a la época del año, debido a que la posición del Sol con respecto a la Tierra varía a lo largo del año debido a los movimientos de rotación y traslación. Por tal razón, la orientación en época de invierno no es la mejor; en época de verano, entonces en aquellas instalaciones cuyos paneles estén fijos, existirá un ángulo de inclinación que optimizará la captación de energía tomando como base el promedio anual (Quintanilla, 2000).

A su vez, a medida que se ubica más lejos del Ecuador, la inclinación del panel debe ser mayor y orientada al hemisferio contrario donde está ubicada. Y en las zonas cercanas al Ecuador, donde no hay mucha variación en las distintas épocas del año, el panel en teoría no requiere ningún tipo de inclinación, sin embargo se recomienda un ligero ángulo de inclinación para permitir que la lluvia limpie el panel de polvo, tierra, desperdicios de aves, etc. En general todo panel solar que se instale debe poseer un ángulo de inclinación por pequeño que sea.

Finalmente, como recomendación en la época de invierno el ángulo de inclinación debería ser el ángulo de latitud más 10° aproximadamente. Así como también en la época de verano, su ángulo de inclinación debería ser el ángulo de latitud menos 10° aproximadamente.

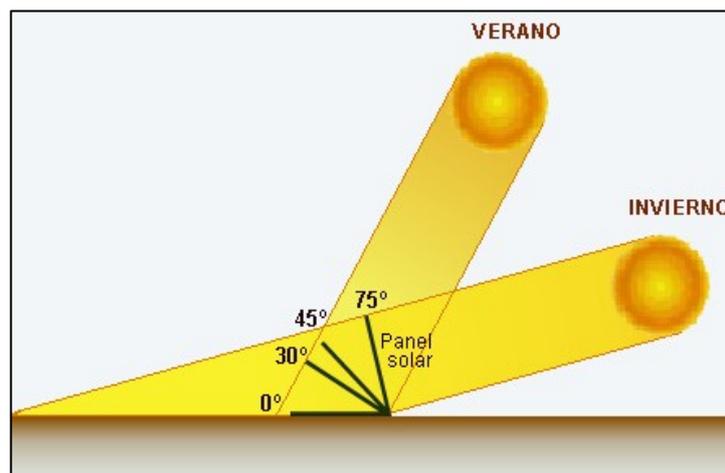


Figura 25. Ángulo de inclinación del panel fotovoltaico

Fuente: http://fascinan-cp152.wordpress.com/uploads/posicion_panel.jpg

2.2.9 Temperatura de un panel fotovoltaico

Un gran factor que influye sobre la eficiencia y comportamiento de la celda es la temperatura. Por esta razón se recomienda tener las celdas en lugares aireados. De este modo se muestra la relación entre potencia vs voltaje, intensidad vs voltaje de acuerdo a diferentes temperaturas (Forget, 2011).

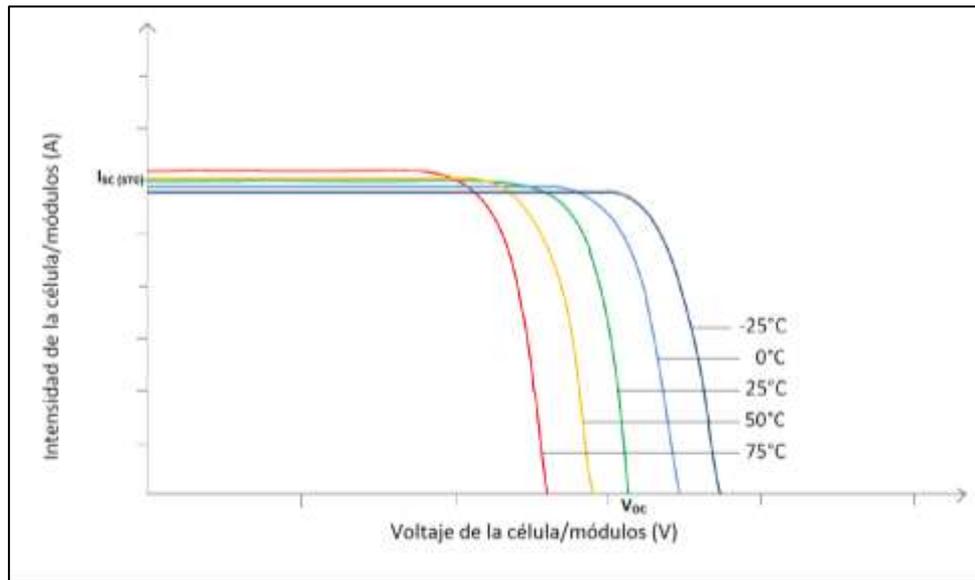


Figura 26. Relación intensidad vs Voltaje de un panel fotovoltaico según la temperatura

Fuente: <https://ingelibreblog.files.wordpress.com/2014/11/temperatura2.png>

Como se observa en la imagen la tensión o voltaje de la celda disminuye cuando la temperatura aumenta. A su vez la intensidad de la celda aumenta cuando la temperatura es mayor, aunque la variación es muy pequeña y en efectos prácticos se considera constante.

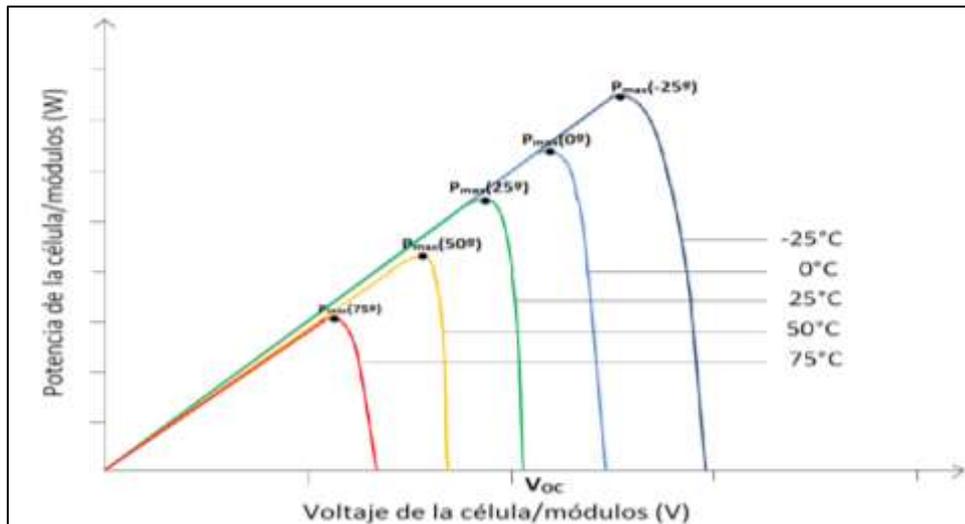


Figura 27. Relación potencia vs Voltaje de un panel fotovoltaico según la temperatura

Fuente: <https://ingelibreblog.files.wordpress.com/2014/11/temperatura3.png>.

Por lo contrario, en este caso se observa en la imagen que la potencia entregada por la celda, disminuye cuando la temperatura es mayor. Determinando de esta manera la gran influencia de la temperatura en relación al comportamiento del panel fotovoltaico.

2.2.10 Tipos de montaje de paneles fotovoltaicos

De acuerdo a la demanda del sistema que se va emplear y el sitio en donde se va instalar, se puede determinar el tipo de montaje que mejor se adecue. Existe una variedad de tipos de montaje, pero entre los más usados se puede encontrar.

1. Montaje en tierra:

Este es un clásico sistema de fijación de módulos para instalaciones fotovoltaicas sobre suelo, lo cual permite colocar los módulos en dos alturas en posición vertical. Su sistema de fijación es mediante zapatas de hormigón o tornillos de cimentación, además a su marco se le atornillan soportes transversales para incrementar el apoyo estructural lateral y prevenir daños por el viento. Con este tipo de montaje se ahorra un tiempo considerable en la instalación de los paneles o módulos.



Figura 28. Montaje en tierra para panel fotovoltaico

Fuente: <https://sc01.alicdn.com/kf/4-Legs-Steel-Ground-Solar-Panel-Mounting.jpg>

2. Montaje directo:

En este tipo de montaje los módulos fotovoltaicos están montados directamente sobre techos o tejados que las diferentes variedades que hay, de esta manera eliminan la necesidad de una estructura de soporte y rieles de montaje. Cabe decir que la instalación de este tipo de montaje no afecta o perfora la cubierta del techo o tejado. Además el tipo de montaje directo cambiara de acuerdo a la de cubierta ya sea plano o inclinado, esto se aplica para el óptimo rendimiento del panel fotovoltaico.



Figura 29. Montaje directo con cubierta inclinada

Fuente: <http://www.energiasolaralicante.com/images/clouds222.jpg>



Figura 30. Montaje directo con cubierta plana

Fuente: <https://sc02.alicdn.com/kf/solar-panel-flat-roof-ballast-mounting-system.jpg>

3. Montaje con seguimiento:

Un sistema de montaje con seguimiento es un dispositivo mecánico capaz de orientar los paneles solares de forma que éstos permanezcan aproximadamente perpendiculares a los rayos solares, siguiendo al sol desde el este al oeste o de sur a norte y viceversa en ambos casos. Este seguimiento azimutal del montaje recoge de un 10% a un 20% más que las estructuras fijas. Es decir, que estos seguidores azimutales pueden llegar hasta el 25%.

Existen de varios tipos, como por ejemplo: (Estructuras para montaje de paneles solares, s.f)

- En dos ejes:

La superficie se mantiene siempre perpendicular al sol. El cual se dividen en 2 modelos:

- Monoposte: un único apoyo central
- Carrousel: varios apoyos distribuidos a lo largo de una superficie circular

- En un eje azimutal:

La superficie gira sobre un eje vertical, el ángulo de la superficie es constante e igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano local que contiene al Sol. La velocidad de giro es variable a lo largo del día.

- En un eje horizontal:

La superficie gira en un eje horizontal y orientado en dirección norte-sur. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol.

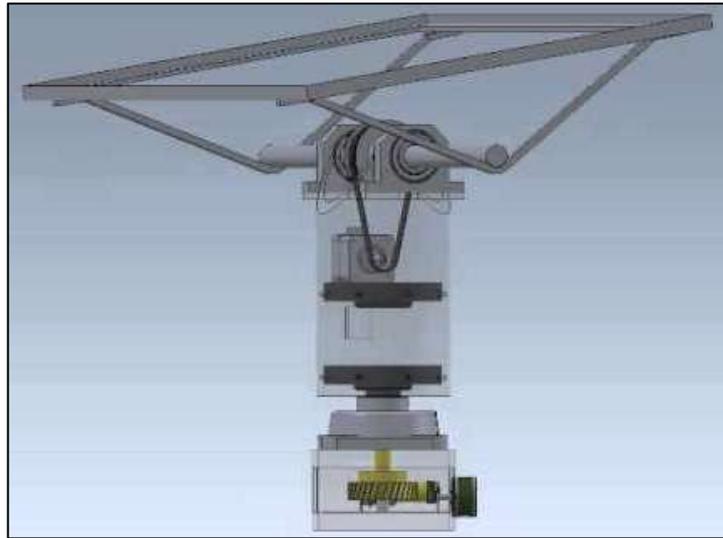


Figura 31. Montaje con seguimiento modelo 1

Fuente: https://i.ytimg.com/vi/f3_AFvZzj1Y/hqdefault.jpg.

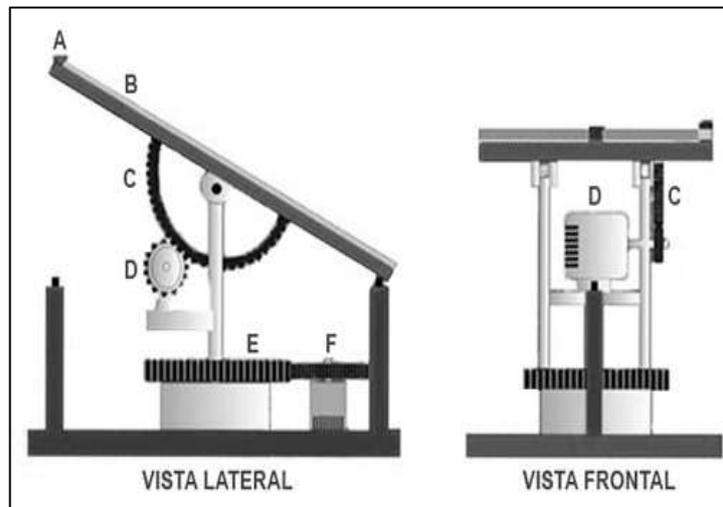


Figura 32. Montaje con seguimiento modelo 2 y 3

Fuente: http://www.energizar.org.ar/images/Seguidor_Solar_5.jpg.

2.2.11 Mantenimiento

El mantenimiento del sistema fotovoltaico es muy bajo comparado con otros sistemas energéticos. Si el sistema está en un entorno cuyo clima es polvoriento y con poca lluvia, se debe limpiar periódicamente, pero comúnmente la lluvia se encarga de realizar la limpieza de los paneles fotovoltaicos, en esta circunstancia solo se limpiaría el panel solar una o dos veces al año. El modo adecuado de limpiarlos sería con agua y jabón no agresivo, con la ayuda de una esponja suave (Bautista, 2009).

Además no se recomienda que se utilice los productos que se enumeran a continuación en el lavado de los paneles para no dañarlos:

1. Agua calcárea:

La cal deja marcas blancas que hacen disminuir el rendimiento.

2. Agua demasiado fría:

No rosear sobre un panel caliente, puede producirse un shock térmico y estropear su panel de forma irreversible.

3. Agua con demasiada presión:

La presión puede deteriorar las juntas del panel.

4. Disolventes y detergentes:

Pueden dañar la superficie del panel.

Además se tiene que tener en cuenta diversos puntos como por ejemplo:

- Inspección visual de residuos alrededor del sistema fotovoltaico.
- Inspección del cableado de los paneles, no debe haber contacto falso entre ellos.
- Inspección en el montaje del panel solar.

- No debe haber ningún obstáculo que haga sombra sobre los paneles fotovoltaicos.

Estos pasos de mantenimiento se deben realizar al menos cuatro veces al año.

2.3 Definiciones conceptuales

✓ Automatización:

Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.

✓ UAQ:

Universidad Autónoma de Querétaro.

✓ USAC:

Universidad de San Carlos.

✓ CO₂:

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra) actualmente en una proporción de 350 ppm. (partes por millón). Su ciclo en la naturaleza está vinculado al del oxígeno.

✓ Efecto Invernadero:

Subida de la temperatura de la atmósfera que se produce como resultado de la concentración en la atmósfera de gases, principalmente dióxido de carbono.

✓ Ondas Electromagnéticas:

Son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse. Incluyen, entre otras, la luz visible y las ondas de radio, televisión y telefonía. Todas se propagan en el vacío a una velocidad constante, muy alta (300 0000 km/s) pero no infinita.

✓ Radiación Electromagnética:

Está formada por la combinación de campos eléctricos y magnéticos, que se propagan a través del espacio en forma de ondas portadoras de energía. Las ondas electromagnéticas tienen las vibraciones perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.

✓ Focos Led:

LED (Light Emitting Diode) es un diodo compuesto por la superposición de varias capas de material semiconductor que emite luz en una o más longitudes de onda (colores) cuando es polarizado correctamente. Al aplicarle una pequeña corriente eléctrica (15 – 20 mA) produce luz.

✓ Célula Fotovoltaica:

Es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica.

✓ Híbrido:

Que procede de la unión de dos individuos de un mismo género pero de especies diferentes.

✓ Shock Térmico:

Se considera golpe de calor cuando la temperatura corporal rebasa los 40° C.

CÁPITULO III: ANALISIS DE RADIACIÓN SOLAR EN EL PERÚ

3.1 Evaluación de la energía solar en el Perú

Actualmente la utilización de la energía solar como fuente de poder para diversos usos laborales ha incrementado en el pasar de los años, esto ha originado que el interés por conocer la disponibilidad de este recurso a nivel nacional incremente, como respuesta surgió la necesidad de recursos informativos que sirvan como base para la aplicación de tecnologías con uso solar, el cual se refiere a los datos de radiación. Esto conlleva a la estimación del rendimiento futuro del equipo solar, en otras palabras, a la evaluación del recurso. Específicamente estos datos comprenderían la estimación de la radiación global horizontal tanto anual como mensual sobre una localidad en particular y a través de ellos evaluar y decidir, si sobre esa base el uso de cierto tipo de sistema solar es viable.

Es por ello que el Atlas de Energía Solar del Perú, elaborado por el Ministerio de Energía y Minas conjuntamente con el SENAMHI, es manifestado como respuesta a la falta de datos, proporcionando información sobre la disponibilidad y distribución de este recurso renovable en nuestro territorio; a su vez como incentivación e impulso a la utilización de la energía solar, como una alternativa limpia, libre de la emisión de gases de efecto invernadero; aumentando el desarrollo económico y social del país, así como también el perfeccionamiento y desarrollo de mejores y nuevas técnicas en este campo (SENAMHI – DEP/MEM, 2003).

3.2 Red de medición e información utilizada

Una red de radiación como concepto simple comprende la medición de la radiación solar global, el cual se define como la irradiancia de onda corta que es emitida de forma perpendicular a la superficie terrestre. Sin embargo, los componentes de la radiación solar tienden a ser dependientes, por ende se puede efectuar diferentes mediciones y obtener el componente que se requiera. Estos pueden ser medidos por radiómetros de condición simple como por ejemplo: piranómetros, pirheliómetros, pirgeómetros, y pirradiómetros; y se usan en estaciones satelitales y observadores meteorológicos otorgando un estimado de medición. (SENAMHI – DEP/MEM, 2003)

Actualmente, SENAMHI posee una red de medición, el cual está compuesto por 197 estaciones que utilizan como instrumentos de medición a piranómetros, el cual es un instrumento de registro directo con gran precisión de irradiación solar, además de actinógrafos que es un instrumento no tan preciso con un registro no de forma instantánea, es decir tiene un retardo de medición; y por último con heliógrafos que es un instrumento no tan preciso, con una medición de forma indirecta de la irradiación solar a través de las horas de sol o también conocido como brillo solar. (SENAMHI – DEP/MEM, 2003)

Cada cierto tiempo los diferentes métodos de medición son calibrados, tomando como referencia una red de 10 estaciones con registros piranométricos y además de 5 estaciones con registros actinógrafos, el cual están esparcidos en todo el Perú tanto costa, sierra y selva. Los datos registrados de los instrumentos piranométricos y parte de los actinógrafos están en planillas, por ende se digitan de forma directa, mientras que la otra gran parte de los actinógrafos son registrados en bandas que manifiestan la información en gráficos, cuya lectura manual es muy rigurosa y tediosa, por eso se diseñó un software para su lectura y procesamiento semiautomático.

Estos datos que posee la red de estaciones de irradiación solar se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 2

Datos de las estaciones meteorológicas llevadas a calibración

Estación Metereológica	Latitud(S)	Longitud (W)	Altitud (msnm)	Record histórico	Instrumento de medición
Miraflores	5,17	80,62	30	1979-1992	Piranómetro
San Ramón SM	5,56	76,05	184	1972-1982	Actinógrafo
El Porvenir	6,35	76,19	230	1964-1971	Actinógrafo
Bambamarca	6,40	78,31	2536	1967-1977	Actinógrafo
Bellavista	7,03	76,33	247	1971-1973	Actinógrafo
Weberbauer	7,17	78,50	2536	1980-1985	Piranómetro
Huayao	12,03	75,32	3308	1977-1996	Piranómetro
A.Von Humboldt	12,08	76,95	238	1968-1999	Piranómetro
Cosmos	12,15	75,57	4575	1986-1988	Piranómetro
Granja Kcayra	13,55	71,87	3219	1980-1988	Piranómetro
San Camilo	14,07	75,72	398	1978-1988	Piranómetro
Chuquibambabilla	14,78	70,73	3971	1980-1984	Piranómetro
Puno	15,83	70,02	3820	1977-1993	Piranómetro
Characato	16,45	71,48	2451	1978-1987	Piranómetro
La Joya	16,58	71,92	1295	1967-1993	Actinógrafo

Fuente: Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú;
 “Atlas de energía Solar del Perú”. (2003)

Además, la red de estaciones climatológicas es bastante más densa en cuanto información, y en la gran mayoría cuenta con los datos de temperaturas extremas y precipitación.

Tabla 3

Principales variables climatológicas de las estaciones meteorológicas llevadas a calibración

Estación meteorológica	Energía solar diaria (Kw h/m ²)	Heliofanía relativa (%)	Temperatura máxima (C°)	Temperatura mínima (C°)	Precipitación total (mm/año)
Costa					
Miraflores	5.75	56	30.7	19.3	216
A. Von Humboldt	4.06	40	23.3	15.5	16
San Camilo	5.92	61	28.7	13.4	11
La Joya	7.03	75	27.0	10.1	77
Sierra					
Bambamarca	4.56	44	19.4	9.5	737
Weberbauer	4.92	49	21.3	7.6	644
Cosmos	4.92	46	9.2	- 0.7	1047
Huayao	6.00	56	19.6	4.4	765
Granja Kcayra	5.44	53	20.7	3.7	674
Chuquibambilla	6.08	59	16.8	- 2.4	715
Puno	6.36	70	14.7	2.0	753
Characato	6.50	73	22.8	6.8	78
Selva					
San Ramón SM	4.67	41	31.3	20.8	2158
El Porvenir	3.89	41	32.5	20.4	1041
Bellavista	4.78	40	32.3	20.9	928

Fuente: Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú; "Atlas de energía Solar del Perú". (2003)

Finalizando, gran cantidad de las estaciones que conforman la red de medición de irradiación solar en el Perú usan como instrumento base los heliógrafos y cuentan con un buen período de registro de datos que son utilizados para extender información de irradiación solar.

3.3 Distribución espacial y temporal de la energía solar incidente diaria en el Perú

De acuerdo a diversas condiciones como orográficas, climáticas y oceanográficas, entre otras; el Perú posee y se determina en tres regiones naturales, las cuales son: (Zumarán, 2016)

1. Costa:

Se extiende desde Tumbes hasta Tacna y además comprende cierta parte de mar, el cual tiene una gran variedad de especies marinas. Además posee grandes desiertos, dunas y valles; con respecto al clima es frío y muy húmedo.

2. Sierra:

Su recorrido sería desde Cajamarca hasta Puno – Cusco, cabe decir que abarca la porción más alta de la Cordillera de los Andes. En esta región se encuentran nevados, picos, montañas, lagos, entre otros. Por otra parte esta región es reconocida por su agricultura y minería, también de tener un clima templado frío y glacial.

3. Selva:

Abarca desde Amazonas hasta Madre de Dios. Es la región más extensa y vasta del Perú y está llena de vegetación. Presenta un clima húmedo pero cálido y en otras ocasiones tropical. Para terminar esta región se divide en dos partes: selva alta o también conocida como ceja de selva y selva baja llamada también cuenca amazónica.

3.3.1 Distribución anual

En el Perú, la distribución de energía solar a nivel anual varía considerablemente de acuerdo al territorio y condiciones climáticas, entre otras. Por consiguiente, las zonas de mayor potencial de energía solar se encuentran en la costa sur (16° a 18° S) el cual posee de 6,0 a 6,5 KWh/m^2 , además en la costa norte (3° a 8° S) que registra entre 5,5 a 6,0 KWh/m^2 y gran parte de la sierra sur, central y norte que sobrepasa los 2500 msnm; en cuanto a las zonas de bajo nivel de energía solar abarca territorios de la selva norte cerca del ecuador (0° a 2° S) con un valor de 4,5 a 5,0 KWh/m^2 . (SENAMHI – DEP/MEM, 2003)

De igual manera, es necesario indicar la desviación estándar anual presente en el Perú, señalando que la mayor variación ocurre en la costa sur, así como también en las superficies de costa central, selva norte, costa norte y sierra sur; con magnitudes de desviación menor se ubica la selva central y sur, la sierra central y parte de la sierra norte.

3.3.2 Distribución estacional

Según investigaciones por (SENAMHI – DEP/MEM, 2003), realizadas dentro del territorio peruano sobre las variaciones climáticas durante las diferentes épocas del año, se ha concluido lo siguiente:

Durante la época de invierno, todo el territorio peruano y el hemisferio sur recibe energía solar con poca intensidad debido a que el sol se encuentra irradiando de forma intensiva el hemisferio norte.

En la época primaveral, el sol inicia su trayectoria de retorno aparente hacia el hemisferio sur, causando la reducción de la humedad atmosférica, como también la escasez de nubes y lluvias en la sierra central y norte, permitiendo que la transmisividad de la atmosfera llegue a sus máximos valores, por ende se registran altos valores de energía solar diaria, específicamente en el mes de noviembre. Así como, en la región de la selva, especialmente la zona norte.

En los meses tanto de octubre como noviembre se obtienen valores altos de energía solar en la costa norte (3° a 6° S y 80° a 81° W), referidos a términos anuales; por otro lado durante el verano presentan valores altos de heliofanía y energía solar.

A finales de primavera, en zonas de la costa sur como Arequipa, Moquegua y Tacna ($13,5^{\circ}$ a 18° S y 70° a 76° W) que están sobre los 1000 msnm, se obtienen valores de energía solar mayores que cualquier época del año y de todo el territorio peruano. Debido a que se localizan por encima de la capa de inversión térmica, por ello tienen un cielo despejado durante todo el año. Del mismo modo, en la sierra sur y parte de la sierra central también se muestran valores altos de energía solar, así mismo durante el verano.

Con respecto a la época del verano austral (diciembre a marzo) el hemisferio sur es irradiado con gran intensidad, por eso la región de la costa central y sur obtienen valores altos de heliofanía y energía solar. Sin embargo, hay algunas excepciones para toda la franja costera al litoral, ubicada por debajo de los 600 msnm, el cual muestra valores de heliofanía y energía solar relativamente bajos durante fines de otoño, invierno e inicios de primavera; esto ocurre debido a la inversión térmica, que origina una capa nubosa baja y con fuerte presencia de nieblas.

Por otro lado, en zonas como en la selva y parte de la sierra norte y central (0° a 10° S y 70° a 79° W), presentan valores significativamente bajos de energía solar. Esto ocurre debido a los controladores climáticos que condicionan la formación de nubes que luego originan lluvias, provocando que la transmisividad atmosférica de todas estas zonas disminuya.

3.4 Instrumentos de medición de la irradiación solar

La radiación solar que llega a la superficie comprende el espectro visible con longitudes de onda entre 0,4 y 0,7 μm , una parte del ultravioleta entre 0,3 y 0,4 μm , y también el infrarrojo entre 0,7 y 5 μm . Esta irradiación solar llega al suelo en dos formas, como irradiación solar directa e irradiación solar difusa, y ambos tipos de irradiación constituyen la irradiación solar global. Los componentes de la irradiación solar que están sujetos a mediciones para fines meteorológicos, y que son de uso más general, son los siguientes:

1. Irradiación solar directa medida a incidencia normal
2. Irradiación solar global recibida sobre una superficie horizontal
3. Irradiación solar difusa

La clasificación de los instrumentos está basada en diferentes criterios. Algunos se ciñen a criterios de estandarización, otros lo asocian a su grado de calidad.

3.4.1 Pirheliómetros

La clasificación de pirheliómetros según la Organización Meteorológica Mundial son: patrones primarios, patrones secundarios y de campo. (Muñoz, 2005)

1. El pirheliómetro patrón primario:

También llamado pirheliómetro patrón absoluto. Este instrumento “puede identificar la escala de irradiancia total sin recurrir a radiadores de referencia, regularmente este instrumento es el más preciso pero suelen ser bastante complicados y muy costosos en cambio”. (SENAMHI, 2003, p.12)

2. El pirheliómetro patrón secundario:

“Es considerado como un pirheliómetro absoluto pero que no está plenamente caracterizado. Normalmente se utilizan para apoyar a otras unidades absolutas, porque son muy fiables para la precisión y recomendable por su portabilidad para cualquier tipo de propósito”. (SENAMHI, 2003, p.12-13)

3. Los pirheliómetros de campo:

“Son usados para registrar continuamente la irradiación solar y usualmente tienen un sistema de seguimiento automático. Contiene una termopila como detector y tienen un ángulo óptico que varía desde $2,5^\circ$ a $5,5^\circ$ de semiángulo de abertura y entre 1° a 2° de ángulo de inclinación; éstas características de su diseño le permiten seguir el desplazamiento”. (SENAMHI, 2003, p.13)



Figura 33. Pirheliómetro de compensación Angstrom

Fuente: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

3.4.2 Piranómetros

“Son instrumentos que miden la irradiación solar global (directa y difusa) en un plano horizontal. El receptor debe estar horizontal y expuesto al hemisferio celeste, pero debe estar protegido de la irradiación que regresa del suelo y los alrededores”. Al encontrarse al aire libre recibe todos los cambios climáticos es por eso que el piranómetro debe ser robusto en su estructura y resistente a la corrosión. Existen diferentes tipos como los mencionados a continuación. (SENAMHI, 2003, p.13)

1. Piranómetro fotovoltaico:

“Estos solarímetros poseen como sensor una célula fotovoltaica, generalmente de silicio cristalino y las fotocélulas pueden producir corriente eléctrica cuando son iluminadas, uno de los beneficios es el bajo costo de estas y la facilidad de uso que los hace muy útiles como instrumentos secundarios”. (SENAMHI, 2003, p.13)

2. Piranómetro termoeléctrico:

“El elemento sensitivo de estos solarímetros es propio de una pila termoeléctrica constituida por pares termoeléctricos (termopares) en serie. Estos termopares crean una tensión eléctrica similar a la diferencia de temperatura entre sus uniones, las cuales se encuentran en contacto térmico con placas metálicas que se calientan cuando están iluminadas”. (SENAMHI, 2003, p.13)

“Los piranómetros con un detector pintado de blanco y negro significan que el receptor presenta superficies blancas y negras situadas en coronas circulares concéntricas o con otros formatos, como estrellas o cuadrículas. En estos instrumentos, las conexiones calientes de termopilas están en relación con superficies negras, muy atrayentes, y las frías en contacto con superficies blancas”. (SENAMHI, 2003, p.13)

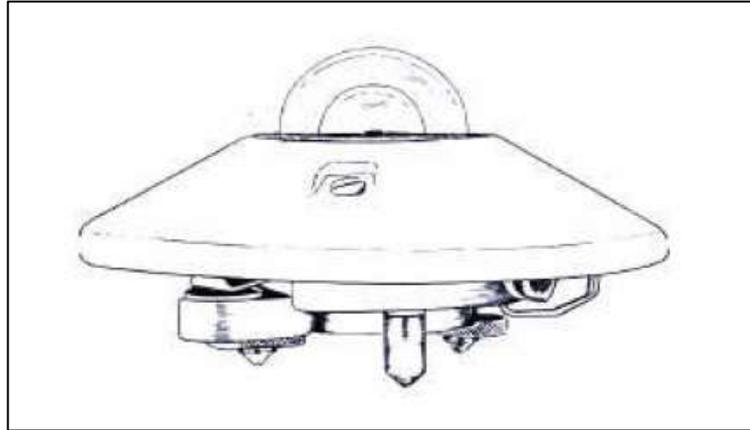


Figura 34. Piranómetro Kipp & Zonen

Fuente: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

3. Piranómetro de Bellani:

“El pirómetro de Bellani es la primera herramienta creada para hallar al irradiación circunglobal fue inventado por Bellani en 1836 y fue reformado por Henry en 1926, este equipo trabaja con el principio de destilación de un líquido que resulta de la absorción de la irradiación incidente”. (SENAMHI, 2003, p.14)



Figura 35. Piranómetro de Bellani

Fuente: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

3.4.3 Medición de la Irradiación solar difusa

Se ejecuta poniendo al piranómetro en una base horizontal y dándole un conjunto de recursos móviles o fijos para impedir que la irradiación directa alcance al receptor. (SENAMHI, 2003)

1. El tipo móvil:

Radica en un pequeño disco impulsado por un montaje ecuatorial que va creando una sombra bien concreta en el receptor.

2. El tipo fijo:

Reside de una armadura que cubre al receptor, este le da equilibrio y no necesita revisión pero necesita correcciones por la pérdida de irradiación difusa debido a los bordes del anillo.

3.4.4 Actinógrafo

El actinógrafo es también conocido piranógrafo bimetalico de Robitzch. Fue creado originariamente por Robitzch en 1915 y es idéntica a un termógrafo. Esta herramienta está compuesta por un receptor con tres láminas bimetalicas localizadas en un mismo plano horizontal y del mismo tamaño. La lámina central que es más oscura, se expande mucho más que las láminas laterales que son blancas al ser calentadas por la irradiación incidente que es similar a la energía recibida. (SENAMHI, 2003).

Muñoz (2005, p.64), especifica que “este instrumento no es usado en lecturas instantáneas, ya que tiene un coeficiente de retardo de 10 a 15 minutos para alcanzar una respuesta del orden de 98 %, siendo considerado un instrumento de tercera clase”.

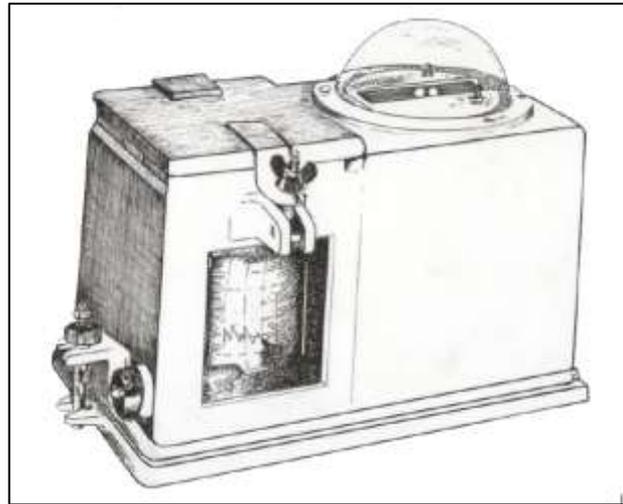


Figura 36. Actinógrafo o piranógrafo bimetálico de Robitzsch

Fuente: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

3.4.5 Heliógrafo

El heliógrafo fue inventado en Inglaterra por Campbell en 1853 y fue rectificado por Stokes en 1879 y es una herramienta que calcula la cantidad de horas del sol durante el día en un lugar específico, que básicamente una esfera de vidrio solido pulido que está montado paralelamente al de la tierra, siendo necesario acomodarlo a plano vertical que pasa por el eje, e inclinar a un ángulo igual a la latitud del lugar. (Muñoz, 2005)

Muñoz (2005, p.65), añade “mediante el uso de correlaciones simples, con coeficientes apropiados, las series históricas de insolación pueden ser utilizadas para estimar irradiación solar diaria, media mensual o anual, con errores mínimos del orden de 10%”.



Figura 37.Heliógrafo Campbell-Stokes

Fuente: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

3.4.6 Instrumental de temperaturas extremas

“La herramienta común para medir la temperatura es el termómetro. Hay muchos tipos de termómetros que se diferencian por sus características, es por tal en la precisión. Existen dos tipos de termómetros que se utilizan para medir la máxima y mínima temperatura”. (SENAMHI, 2003, p.15)

1. Termómetro de máxima:

“Es muy similar a los termómetros de mercurio pues al dilatarse por calentamiento, el mercurio atraviesa el lado estrecho en la luz, pero al contraerse que queda en el mismo sitio quedando en el registro la temperatura máxima”. (SENAMHI, 2003, p.15)

2. Termómetro de mínima:

“Es un tubo lleno de alcohol en el cual marca una tabla de medición que al contraerse el alcohol la tabla es arrastrada en dirección a la ampolla y queda señalada la temperatura mínima”. (SENAMHI, 2003, p.15)

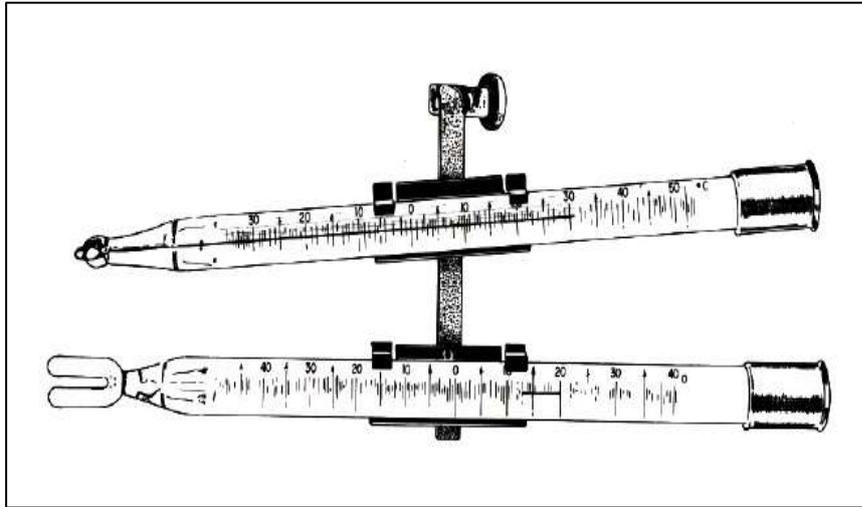


Figura 38. Termómetro de máxima (superior), termómetro de mínima (inferior)

Fuente: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

3.5 Modelos de estimación de la irradiación solar

1. Modelo Angstrom – Prescott:

“El Modelo Angstrom - Prescott es el más usado para calcular la irradiación solar relativa (H/H_0) establecido en las horas de sol relativas (n/N). Dada en la siguiente ecuación”: (SENAMHI, 2003, p.17)

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N}$$

Muñoz (2005, p.69) especifica: “H es la irradiación solar medida en superficie, H_0 es la irradiación solar en el tope de la atmósfera, n son las horas de sol efectivas o heliofanía y N es la duración astronómica del día para una fecha del año y latitud específicos. Los coeficientes empíricos a y b tienen un significado físico, donde a+b representa el valor máximo de la transmisividad de la atmósfera, mientras que el coeficiente a representa el mínimo valor”.

2. Modelo Bristow – Campbell:

El modelo Bristow - Campbell nos muestra que la diferencia de la temperatura máxima y mínima en un día, depende entre la relación del calor sensible y el calor latente. El calor sensible trabaja con la irradiación solar y calcula las temperaturas máximas. Este modelo sugiere el cálculo de la irradiación solar relativa (H/H_0) en función de la temperatura máxima y mínima ($^{\circ}\text{C}$). (Muñoz, 2005)

El modelo de interpolación está basada especialmente en calcular la distribución espacial y temporal de las temperaturas máximas y mínimas para que dejen entrada al modelo bristow-campbell. Este modelo fue desarrollado para lugares complejos de montaña donde hay muchos cambios microclimáticos y donde los métodos más comunes tienen muchos problemas a causa de la densidad de información. (Muñoz, 2005)

CAPITULO IV: DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.1 Aplicación del mapa de radiación solar

La aplicación de este método es tomar los datos de irradiación solar diaria promedio, basada originalmente de una fuente contundente y confiable, el cual se refiere al Atlas de Energía Solar del Perú que fue realizado por SENAMHI y el Ministerio de Energía y Minas. Por medio de este documento se puede calcular la incidencia solar diaria requerida en las localidades donde se planifica y evalúa la factibilidad del uso del sistema fotovoltaico. Debido que cuenta con información de la energía solar incidente diaria de todo el territorio nacional.

A continuación se registra en tabla los datos de energía solar incidente diaria, de los diferentes mapas de cada mes del Atlas de Energía Solar del Perú, relacionados con la siguiente ubicación:

Callao – La punta

Latitud Sur: 12°04'

Longitud Oeste: 77°10'

Elevación: 13 m.s.n.m.

Tabla 4

Datos de energía solar incidente diaria de cada mes de la localidad del Callao - La punta

Mes	Energía solar incidente diaria (kwh/m ² – día)	Estación
Enero	6,0 – 6,5	Verano
Febrero	5,0 – 5,5	Verano
Marzo	5,5 – 6,0	Verano / otoño
Abril	5,5 – 6,0	Otoño
Mayo	4,5 – 5,0	Otoño
Junio	4,0 – 4,5	Otoño / Invierno
Julio	4,0 – 4,5	Invierno
Agosto	4,5 – 5,0	Invierno
Setiembre	5,5 – 6,0	Invierno / Primavera
Octubre	5,0 – 5,5	Primavera
Noviembre	6,0 – 6,5	Primavera
Diciembre	6,5 – 7,0	Primavera / Verano

Fuente: SENAMHI – DEP/MEM. (2003)

Además se necesitará tomar la desviación estándar promedio de dicha localidad según el Atlas Solar, ya que cuenta como dato importante para el cálculo de la incidencia solar diaria, el cual es el siguiente:

DATO 1:

- Desviación Estándar Promedio = 0,6 – 0,7 (KW-h/m²-día)

Para realizar el cálculo de un sistema fotovoltaico es recomendable proyectarse en el peor de los casos.

Entonces se tomará el dato de energía solar incidente diaria del peor mes de la tabla N°1, que corresponde a un valor de irradiación solar diaria demasiado baja, el cual se encuentra durante los meses de junio y julio cuando la época de otoño acaba y el invierno empieza, temporada en donde hay lluvias y neblina.

Por lo tanto se tendrá el siguiente dato, para el cálculo:

DATO 2:

- Energía Solar Incidente Diaria = 4,0 – 4,5 (KW-h/m2-dia)

En un escenario negativo, se proyecta considerando los siguientes valores y se obtiene lo siguiente:

DATO RESULTANTE 1:

- Desviación Estándar Promedio = 0,7 (KWh/m2-dia)

DATO RESULTANTE 2:

- Energía Solar Incidente Diaria = 4,0 (KWh/m2-dia)

Por último, el resultado final de la Energía Solar Incidente Diaria sería la resta de ambos datos, obteniendo lo siguiente:

DATO 3:

- Energía Solar Incidente Diaria = 3,3 (KWh/m2-dia)

Tomando el dato anterior se puede calcular la hora solar pico (HPS) o incidencia solar, de la localidad de Callao – La Punta.

$$HPS = \frac{\text{Energía Solar Incidente Diaria}}{\text{Potencia de Irradiancia en condiciones estandar (STC)}}$$

$$HPS = \frac{3300 \frac{Wh}{m^2 dia}}{1000 \frac{W}{m^2}} = 3,3 \frac{h}{dia}$$

4.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Para el diseño de la instalación solar fotovoltaica en la infraestructura ENAMM, se dispone de diferentes opciones en cuanto a la distribución y ubicación en conjunto de los elementos del sistema fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica a los pasadizos de la segunda cubierta del patio principal, por lo cual se realizará todas las opciones de cálculo para una futura comparación en cuanto al costo y dimensión espacial.

4.2.1 Dimensionado de la opción N° 1

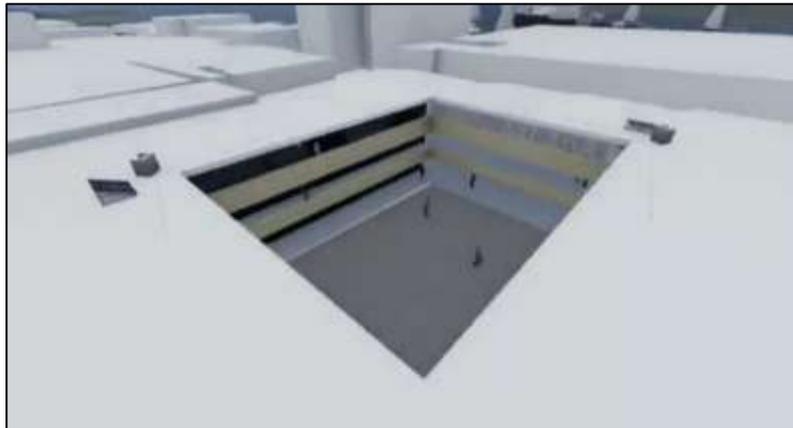


Figura 39. Dibujo del diseño de la opción N°1

Fuente: Elaboración propia

En este caso se distribuirá dos sistemas fotovoltaicos por separado, que se ubicarán en una esquina contraria a la otra de forma diagonal, con el fin de suministrar energía eléctrica a dos pasadizos adyacentes a cada uno.

Tabla 5

Energía total diaria del pasadizo 1 y 2 del sistema fotovoltaico "A"

Pasadizo	Luminaria	Cantidad	Potencia (w)	Uso diario (h/día)	Energía (Wh/día)	Carga total diaria (Wh/día)
N° 1	Foco Led	5	12	5	300	660
N° 2	Foco Led	6	12	5	360	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6

Energía total diaria del pasadizo 3 y 4 del sistema fotovoltaico "B"

Pasadizo	Luminaria	Cantidad	Potencia (w)	Uso diario (h/día)	Energía (Wh/día)	Carga total diaria (Wh/día)
N° 3	Foco Led	6	12	5	360	660
N° 4	Foco Led	5	12	5	300	

Fuente: Elaboración propia

Debido a que se tiene una igualdad de carga total diaria en los dos sistemas fotovoltaicos, se hará un solo cálculo para ambos casos.

Entonces se tomará el siguiente dato tanto para el sistema fotovoltaico "A" y "B":

- Carga Total Diaria = 660 Wh/día

Para este proyecto se va considerar que la tensión del sistema será de 12 V, dado este dato se calculará la corriente continua diaria total.

$$Carga\ diaria\ de\ corriente = \frac{Carga\ Total\ Diaria}{Tensi3n\ del\ Sistema}$$

$$Carga\ diaria\ de\ corriente = \frac{660\ \frac{Wh}{dia}}{12\ V} = 55\ \frac{Ah}{dia}$$

Con este dato se proceder3 a calcular la corriente pico del sistema.

$$Corriente\ Pico\ del\ Sistema = \frac{Carga\ diaria\ de\ corriente}{HPS}$$

$$Corriente\ Pico\ del\ Sistema = \frac{55\ \frac{Ah}{dia}}{3.3\ \frac{h}{dia}} = 16.67\ A$$

4.2.2 Dimensionado de la opci3n N° 2



Figura 40. Dibujo del dise1o de la opci3n N°2

Fuente: Elaboraci3n propia

En este caso se distribuirá cuatro sistemas fotovoltaicos por separado, que se ubicarán en cada pasadizo de forma centrada, con la finalidad de suministrar energía eléctrica a cada uno de sus áreas respectivas.

Tabla 7

Energía total del pasadizo 3 del sistema fotovoltaico "A"

Pasadizo	Luminaria	Cantidad	Potencia (w)	Uso diario (h/día)	Carga total diaria (Wh/día)
N° 3	Foco led	6	12	5	360

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Energía total del pasadizo 2 del sistema fotovoltaico "B"

Pasadizo	Luminaria	Cantidad	Potencia (w)	Uso diario (h/día)	Carga total diaria (Wh/día)
N° 2	Foco led	6	12	5	360

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9

Energía total del pasadizo 1 del sistema fotovoltaico "C"

Pasadizo	Luminaria	Cantidad	Potencia (w)	Uso diario (h/día)	Carga total diaria (Wh/día)
N° 1	Foco led	5	12	5	300

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Energía total del pasadizo 4 del sistema fotovoltaico "D"

Pasadizo	Luminaria	Cantidad	Potencia (w)	Uso diario (h/día)	Carga total diaria (Wh/día)
N° 4	Foco led	5	12	5	300

Fuente: Elaboración propia

Debido a que se tiene una igualdad de carga total diaria tanto en los sistemas fotovoltaicos de "A" con "B" y de "C" con "D", se hará un solo cálculo para cada uno de los casos respectivamente. Se comenzará el procedimiento en orden alfabético.

Primero se tomará el siguiente dato que corresponde tanto para el sistema fotovoltaico "A" y "B":

- Carga Total Diaria = 360 Wh/día

En este proyecto se va considerar que la tensión del sistema será 12 V, dado este dato se calculará la corriente continua diaria total.

$$Carga\ diaria\ de\ corriente = \frac{Carga\ Total\ Diaria}{Tensión\ del\ Sistema}$$

$$Carga\ diaria\ de\ corriente = \frac{360 \frac{Wh}{dia}}{12\ V} = 30 \frac{Ah}{dia}$$

Con este dato procedemos a calcular la corriente pico del sistema fotovoltaico "A" y "B".

$$Corriente\ Pico\ del\ Sistema = \frac{Carga\ diaria\ de\ corriente}{HPS}$$

$$\text{Corriente Pico del Sistema} = \frac{30 \frac{Ah}{\text{día}}}{3.3 \frac{h}{\text{día}}} = 9.09 A$$

A continuación se realizará el cálculo que corresponde al sistema fotovoltaico “C” y “D”, tomando como dato:

- Carga Total Diaria = 300 Wh/día

Para este proyecto se va considerar que la tensión del sistema será de 12 V, dado este dato se calculará la corriente continua diaria total.

$$\text{Carga diaria de corriente} = \frac{\text{Carga Total Diaria}}{\text{Tensión del Sistema}}$$

$$\text{Carga diaria de corriente} = \frac{300 \frac{Wh}{\text{día}}}{12 V} = 25 \frac{Ah}{\text{día}}$$

Con este dato se procede a calcular la corriente pico del sistema fotovoltaico “C” y “D”.

$$\text{Corriente Pico del Sistema} = \frac{\text{Carga diaria de corriente}}{HPS}$$

$$\text{Corriente Pico del Sistema} = \frac{25 \frac{Ah}{\text{día}}}{3.3 \frac{h}{\text{día}}} = 7.58 A$$

4.3 Elementos del sistema fotovoltaico

4.3.1 Cálculo y selección del panel solar fotovoltaico

Para determinar la cantidad de paneles solares que serán conectados en serie en dicho proyecto, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Se debe considerar que además de las pérdidas por conexión, también se incluyen pérdidas por efecto de temperatura y acumulación de suciedad en la superficie de los módulos.
- Ser consciente que el valor de irradiación utilizado en los cálculos del proyecto (aunque este sea el mínimo posible en un determinado tiempo) nunca va a ser 100% confiable.

Por consiguiente es necesario sobredimensionar el diseño del sistema, para minimizar o desaparecer estas pérdidas y obtener una mayor confiabilidad de operatividad.

A continuación se realizará la selección y el cálculo de la cantidad de módulos solares de las diferentes opciones:

✓ OPCION N° 1:

Se tomará el valor del corriente pico que corresponde al sistema fotovoltaico "A" y "B", luego iremos al catálogo para fijar los valores máximos de la corriente que generan los diferentes paneles solares:

- Corriente Pico del Sistema = 16.67 A

Tipo	Foto	Voltaje max. Voc*	Voltaje MPP Vmpp*	Corriente max Isc *	Corriente MPP Impp *	Tipo / Diodos	Medidas (mm)	Bosquejo
Monocristalino 90Wp / 12V		21.8V	17.6V	5.51A	5.11A	Mono 36 cel/Si	1200x540x35	
Policristalino 100Wp / 12V		22.4V	18.3V	5.95A	5.46A	Poli 36 cel/Si	1020x670x35	
Monocristalino 120Wp / 12V		21.7V	17.7V	7.57A	7.14A	Mono 36 cel/Si	1482x670x35	
Policristalino 140Wp / 12V		22.3V	18.00V	8.25A	7.78A	Poli 36 cel/Si	1482x676x50	
Monocristalino 150Wp / 12V		22.6V	18.01V	8.88A	8.42A	Mono 36 cel/Si	1482x676x35	

Figura 41. Paneles solares de la opción N°1

Fuente: Recuperado de <http://www.inmotica Peru.com>

Se seleccionará el módulo que obtenga el mayor valor de corriente pico (Impp), con el fin de poder tener una menor cantidad de módulos y a la vez menor espacio de diseño.

Por tal razón se elige al panel de tipo monocristalino de 150 Wp y 12 V, con una corriente pico (Impp) de 8.42 A.

Seguidamente se procede a determinar el número de paneles fotovoltaicos.

$$\text{Cantidad de paneles solares} = \frac{\text{Corriente Pico del Sistema}}{\text{Corriente Pico del panel seleccionado}}$$

$$\text{Cantidad de paneles solares} = \frac{16.67 \text{ A}}{8.42 \text{ A}} = 1.9798 \approx 2$$

Una vez obtenida la cantidad, se efectúa el cálculo de costo.

Tabla 11

Valoración económica del panel fotovoltaico seleccionado para un sistema solar de la opción N°1

Tipo de módulo	Marca	Fabricante	Precio		Precio total
			Unidad (s/.)	Cantidad	(s/.)
Monocristalino 150 Wp, 12 V	SolarLand	USA	450	2	900

Fuente: Elaboración propia

Debido a que son 2 sistemas fotovoltaicos, el costo total final para este caso de la opción n° 1 será:

Tabla 12

Valoración económica resultante de los paneles seleccionados de la opción N°1

Sistema fotovoltaico	Precio del sistema (s/.)	Costo final "A+B" (S/.)
A	900	1800
B	900	

Fuente: Elaboración propia

✓ OPCIÓN N°2:

Debido a que en este caso existen 4 sistemas solares, primero se tomara el valor del corriente pico que corresponde al sistema fotovoltaico “A” y “B”, y luego se continuará con los sistemas fotovoltaicos “C” y “D”.

Entonces se tomará como dato lo siguiente:

- Corriente Pico tanto para el Sistema Fotovoltaico “A” y “B” = 9.09 A

Seguidamente se observa el catálogo para fijar los valores máximos de la corriente que generan los diferentes paneles solares:

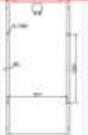
Tipo	Foto	Voltaje max. Voc*	Voltaje MPP Vmpp*	Corriente max Isc *	Corriente MPP Impp *	Tipo / Diodos	Medidas (mm)	Bosquejo
Monocristalino 90Wp / 12V		21.8V	17.6V	5.51A	5.11A	Mono 36 cel/ Si	1200x540x35	
Policristalino 100Wp / 12V		22.4V	18.3V	5.95A	5.46A	Poli 36 cel/ Si	1020x670x35	
Monocristalino 120Wp / 12V		21.7V	17.7V	7.57A	7.14A	Mono 36 cel/ Si	1482x670x35	
Policristalino 140Wp / 12V		22.3V	18.00V	8.25A	7.78A	Poli 36 cel/ Si	1482x676x50	
Monocristalino 150Wp / 12V		22.6V	18.01V	8.88A	8.42A	Mono 36 cel/ Si	1482x676x35	

Figura 42. Paneles solares de la opción N°2 para el sistema solar “A” y “B”

Fuente: Recuperado de <http://www.inmotica Peru.com>

Se selecciona un panel con un valor de corriente pico (I_{mpp}) promedio, con el fin de obtener una menor cantidad de módulos, así mismo un menor espacio de diseño. Y también un menor costo de gasto.

Por tal razón se elige al panel de tipo monocristalino de 90 Wp y 12 V, con una corriente pico (I_{mpp}) de 5.11 A.

Seguidamente se procede a determinar el número de paneles fotovoltaicos.

$$Cantidad\ de\ paneles\ solares = \frac{Corriente\ Pico\ del\ Sistema}{Corriente\ Pico\ del\ panel\ seleccionado}$$

$$Cantidad\ de\ paneles\ solares = \frac{9.09\ A}{5.11\ A} = 1.7789 \approx 2$$

Una vez obtenida la cantidad, se efectúa el cálculo de costo.

Tabla 13

Valoración económica del panel fotovoltaico seleccionado para un solo sistema solar como "A" y "B" de la opción N°2

Tipo de módulo	Marca	Fabricante	Precio unidad (S/.)	Cantidad	Precio total (S/.)
Monocristalino 90 Wp, 12 V	SolarLand	USA	270	2	540

Fuente: Elaboración propia

Debido a que son 2 sistemas fotovoltaicos, el costo total será:

Tabla 14

Valoración económica resultante de los paneles seleccionados de la opción N°2 de los sistemas solares "A" y "B"

Sistema fotovoltaico	Precio del sistema (S/.)	Costo final "A+B" (S/.)
A	540	1080
B	540	

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se continúa con el cálculo de los sistemas fotovoltaicos "C" y "D". Entonces se toma como dato lo siguiente:

- Corriente Pico tanto para el Sistema Fotovoltaico "C" y "D" = 7.58 A

Ahora se observa el catálogo para fijar los valores máximos de la corriente que generan los diferentes paneles solares:

Tipo	Foto	Voltaje max. Voc*	Voltaje MPP Vmpp*	Corriente max Isc *	Corriente MPP Impp *	Tipo / Diodos	Medidas (mm)	Bosquejo
Monocristalino 90Wp / 12V		21.8V	17.6V	5.51A	5.11A	Mono 36 cel/ Si	1200x540x35	
Policristalino 100Wp / 12V		22.4V	18.3V	5.95A	5.46A	Poli 36 cel/ Si	1020x670x35	
Monocristalino 120Wp / 12V		21.7V	17.7V	7.57A	7.14A	Mono 36 cel/ Si	1482x670x35	
Policristalino 140Wp / 12V		22.3V	18.00V	8.25A	7.78A	Poli 36 cel/ Si	1482x676x50	
Monocristalino 150Wp / 12V		22.6V	18.01V	8.88A	8.42A	Mono 36 cel/ Si	1482x676x35	

Figura 43. Paneles Solares de la opción N°2 para el sistema solar C y D

Fuente: Recuperado de <http://www.inmotica Peru.com>

Se selecciona un panel con un valor de corriente pico (I_{mpp}) alto, con el fin de obtener una menor cantidad de módulos, así mismo un menor espacio de diseño. Y también un menor costo de gasto.

Por tal razón se elige el panel de tipo monocristalino de 90 Wp y 12 V, con una corriente pico (I_{mpp}) de 5.11 A.

Seguidamente se procede a determinar el número de paneles fotovoltaicos.

$$\text{Cantidad de paneles solares} = \frac{\text{Corriente Pico del Sistema}}{\text{Corriente Pico del panel seleccionado}}$$

$$\text{Cantidad de paneles solares} = \frac{7.58 \text{ A}}{5.11 \text{ A}} = 1.4834 \approx 2$$

Una vez obtenida la cantidad, se efectúa el cálculo de costo.

Tabla 15

Valoración económica del panel fotovoltaico seleccionado para un solo sistema solar como C y D de la opción N°2

Tipo de módulo	Marca	Fabricante	Precio unidad (S/.)	Cantidad	Precio total (S/.)
Monocristalino 90 Wp, 12 V	SolarLand	USA	270	2	540

Fuente: Elaboración propia

Debido a que son 2 sistemas fotovoltaicos, el costo total será:

Tabla 16

Valoración económica resultante de los paneles seleccionados de la opción N°2 de los sistemas solares "C" y "D"

Sistema fotovoltaico	Precio del sistema (S/.)	Costo total "C+D" (S/.)
C	540	1080
D	540	

Fuente: Elaboración propia

Por último, al obtener los costos de los 4 sistemas solares, se calcula el costo total final para este caso de la opción n° 2:

Tabla 17

Valoración económica final de los paneles seleccionados de la opción N°2

Sistema fotovoltaico	Precio del sistema (S/.)	Costo final "A+B+C+D" (S/.)
A	540	2160
B	540	
C	540	
D	540	

Fuente: Elaboración propia

Para concluir con la elección de los paneles solares, se realizará una comparación de costos entre la opción n°1 y n°2, evaluando cuál de ellos es el más económico para su selección final.



Grafica 1. Comparación de costos entre la opción 1 y 2

Fuente: Autores

Según la gráfica se concluye que la opción N°1 es la más rentable, debido a su menor costo, por ende se realiza su selección y es tomada como modelo para el cálculo de los demás elementos que conforman el sistema.

4.3.2 Cálculo y selección de la batería de almacenamiento

Es importante considerar que el tamaño de la batería o acumulador de almacenamiento depende de la confiabilidad del suministro de potencia, es decir que los datos de energía solar incidente diaria registrada en esa localidad deben de ser de una entidad o fuente confiable.

Según estudios realizados recomiendan que en todo tipo de sistema fotovoltaico la cantidad de días de almacenamiento en baterías debe estar entre un rango de 1 día como mínimo y 5 días como máximo, por lo tanto se ha considerado evaluar un almacenamiento promedio de 3 días. Esto conlleva que durante los 3 días sin brillo solar, la capacidad de la batería será capaz de suministrar energía por lo menos 3 veces el consumo de carga diario.

Además se debe considerar que todas las baterías en la práctica no funcionan a un 100% de eficiencia, así como también el descargarse a su 100%. Es necesario adicionar que la eficiencia depende mucho del uso de la batería ya que cuando se carga y se usa constantemente la eficiencia será alta, pero cuando es poco utilizado la auto descarga provocará una baja eficiencia; y con respecto a la descarga mientras mayor sea su porcentaje su tiempo de vida se disminuirá a mayor intensidad.

4.3.2.1 Cálculo para tres días de reserva

Para este proceso de estimación se debe considerar los parámetros mencionados anteriormente, ya que se usarán como base de cálculo.

En primer lugar se selecciona la batería a usar para este sistema fotovoltaico. Se recomienda elegir una de gran capacidad para obtener una menor cantidad y a la vez una menor dimensión.

<p>Batería ULTRACELL UCG55-12 GEL de CICLO PROFUNDO</p>		<p>12 VDC 55Ah @ C10h</p>	<p>La mejor batería para SFVs con un altísimo rendimiento de 2400 ciclos a 30% DOD! Vida de diseño Float: 15 años Ciclos: 2400 ciclos a 30% DOD Dimensiones: 229 x 138 x 209 mm Peso: 17 kg Origen: Inglaterra</p>	
<p>Batería ULTRACELL UCG85-12 GEL de CICLO PROFUNDO</p>		<p>12 VDC 85Ah @ C10h</p>	<p>La mejor batería para SFVs con un altísimo rendimiento de 2400 ciclos a 30% DOD! Vida de diseño Float: 15 años Ciclos: 2400 ciclos a 30% DOD Dimensiones: 309 x 169 x 209 mm Peso: 26 kg Origen: Inglaterra</p>	
<p>Batería ULTRACELL UCG100-12 GEL de CICLO PROFUNDO</p>		<p>12 VDC 100Ah @ C10h</p>	<p>La mejor batería para SFVs con un altísimo rendimiento de 2400 ciclos a 30% DOD! Vida de diseño Float: 15 años Ciclos: 2400 ciclos a 30% DOD Dimensiones: 327 x 173 x 212 mm Peso: 31 kg Origen: Inglaterra</p>	
<p>Batería ULTRACELL UCG150-12 GEL de CICLO PROFUNDO</p>		<p>12 VDC 150Ah @ C10h</p>	<p>La mejor batería para SFVs con un altísimo rendimiento de 2400 ciclos a 30% DOD! Vida de diseño Float: 15 años Ciclos: 2400 ciclos a 30% DOD Dimensiones: 485 x 170 x 240 mm Peso: 44 kg Origen: Inglaterra</p>	

Figura 44. Baterías solares

Fuente: Recuperado de <http://www.inmotica Peru.com>

Según lo dicho anteriormente, se realizó la selección de una batería con las siguientes características.

BATERÍA:

- Marca: Ultracell
- Modelo: UCG150-12
- Tipo: Gel
- Capacidad: 150Ah
- Tensión Nominal: 12V

Seguidamente, se determina la cantidad de baterías a usar para tres días de reserva. Para ello se necesita previamente calcular ciertos datos como lo es la capacidad del banco de baterías, el cual se mostrará a continuación:

DATOS:

- Días de reserva = 3
- Carga diaria de corriente (Diseño escogido - Opción N°1) = 55 h/día

Luego se procede a aplicar la fórmula.

*Capacidad banco de baterías = Día de reserva * Carga de corriente corregida*

$$\text{Capacidad banco de baterías} = 3 \text{ días} * 55 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$$

$$\text{Capacidad banco de baterías} = 165 \text{ Ah}$$

Seguidamente se corregirá la capacidad del banco de baterías a través de unos factores, los cuales son:

- Profundidad de descarga (DOD) = 30%
- Eficiencia del tipo de batería = 93%

Estos datos son considerados, por lo siguientes fundamentos:

Se eligió esa profundidad de descarga, ya que cuanto mayor sea este porcentaje menor será el tiempo de vida de la batería, según la ficha técnica del acumulador elegido nos indica que a condiciones estándar de 25°C y aplicando un 30% de DOD su tiempo de vida máximo será de 13 a 15 años, debido a que obtendrá la gran cantidad de ciclos de vida del acumulador.

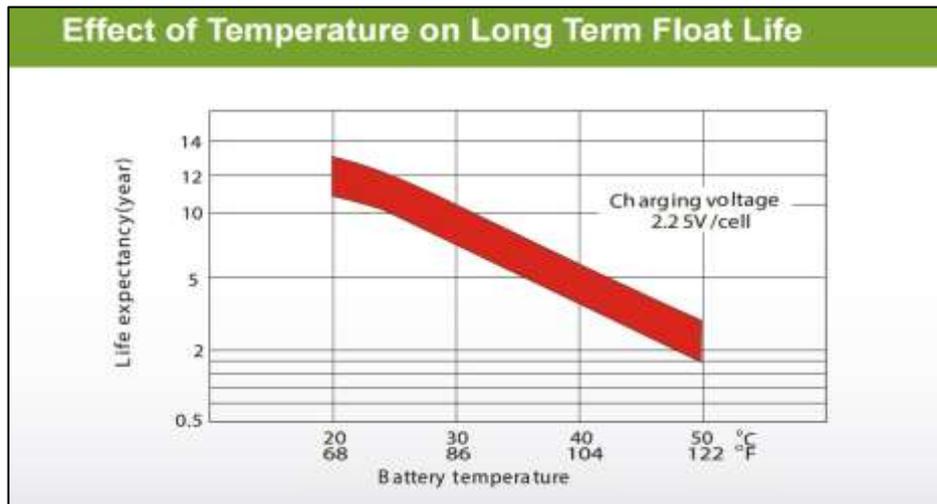


Figura 45. Gráfica de relación entre el tiempo de vida vs Temperatura de batería

Fuente: Recuperado de <http://www.inmotica-peru.com.pe/UCG150-12.pdf>

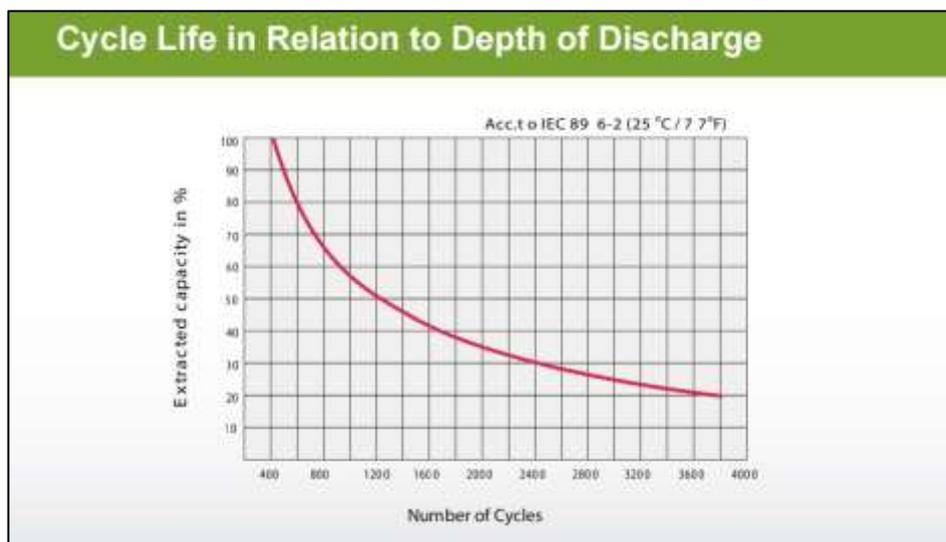


Figura 46. Gráfica de relación entre DOD vs Numero de ciclos

Fuente: Recuperado de <http://www.inmotica-peru.com.pe/UCG150-12.pdf>

Y con respecto a la eficiencia, este dato no se pudo conseguir en la ficha técnica de la batería seleccionada, por tal motivo se tuvo que adquirir de una fuente externa confiable, el cual se tomó ese dato de un estudio elaborado por una empresa conocida llamada Mastervolt, que tiene como sedes centrales EE.UU, Australia y Holanda, conformada por diversos ingenieros especialistas en acumuladores. El cual indica que la eficiencia para baterías selladas de plomo ácido tipo gel esta entre un rango de 90% a 95%, para nuestro caso tomamos como valor de eficiencia el promedio de ambos, que da como resultado un 93%.

Dicho lo anterior se aplica la fórmula para la corrección de la capacidad del banco de baterías.

$$\textit{Capacidad corregida} = \frac{\textit{Capacidad nominal del banco de baterías}}{\textit{Profundidad de descarga} * \textit{Eficiencia de la batería}}$$

$$\textit{Capacidad corregida} = \frac{165 \textit{ Ah}}{0.3 * 0.93}$$

$$\textit{Capacidad corregida} = 591.40 \textit{ Ah}$$

Con estos datos calculados, se procede a realizar el estimado de la cantidad de baterías que se necesitarán para el sistema fotovoltaico "A".

DATOS:

- Capacidad corregida = 591.40 Ah
- Capacidad de la batería elegida en el catálogo = 150 Ah

$$\text{Cantidad de baterías} = \frac{\text{Capacidad corregida}}{\text{Capacidad de batería elegida en catálogo}}$$

$$\text{Cantidad de baterías} = \frac{591.40 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}}$$

$$\text{Cantidad de baterías} = 3.9427 \approx 4$$

Entonces se necesitará un total de 6 baterías, que corresponde al sistema fotovoltaico "A", debido a que se considera como diseño a la opción N°1 nos faltaría considerar el sistema fotovoltaico "B", para así obtener la cantidad total de baterías que se va a emplear en este proyecto.

Tabla 18

Cantidad total de baterías seleccionadas para el diseño de la opción N °1

Sistema fotovoltaico	Cantidad de baterías	Cantidad total
A	4	8
B	4	

Fuente: Elaboración propia

Ahora se calculará el costo total de las baterías, proyectado a la misma cantidad de años de vida de los paneles solares que se van a usar en este proyecto, el cual tiene un máximo de 30 años. Para ello se necesita ciertos datos como:

- Costo por unidad de batería = S/. 650
- Periodo de vida de cada batería = 13 años como máximo

El primer cálculo será para hallar el costo de instalación inicial.

Tabla 19

Valoración económica total de las baterías seleccionadas con un tiempo de vida máxima de 15 años

Batería	Marca	Fabrica	Precio unidad (S/.)	Cantidad	Precio total (S/.)
UCG Gel 150Ah 12V	Ultracell	Reino Unido	650	8	5200

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se calculará el costo a largo plazo que es proyectado a unos 30 años. Para este proceso se tendrá que considerar el doble de la cantidad total de las baterías, para así llegar a un tiempo de uso de 30 años siendo aproximado a lo que se requiere.

Tabla 20

Valoración económica final de las baterías seleccionadas con un tiempo de vida máxima de 30 años

Batería	Marca	Fabrica	Precio unidad (S/.)	Cantidad	Precio final (S/.)
UCG Gel 150Ah 12V	Ultracell	Reino Unido	650	16	10400

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Cálculo y selección del conductor

Es necesario indicar que el cálculo de la sección del conductores es muy importante para los sistemas fotovoltaicos, principalmente para aquellas que trabajan con una baja tensión, como por ejemplo los de 12 V, 24 V y 48 V. Debido a que en estos casos el número de amperios aumenta, originando así una pérdida eléctrica más notoria en los conductores, es por ello que deben estar bien dimensionados.

Con lo dicho anteriormente, se procederá a desarrollar nuestra fórmula de cálculo para los conductores. Teniendo como primera fórmula lo siguiente:

$$R = \frac{L}{\sigma * S}$$

Donde:

R = Resistencia en ohmios

L = Longitud en metros

S = Sección del conductor en mm

σ = Conductividad

En adición, la misma resistencia también se puede definir de otra manera, teniendo así nuestra segunda fórmula:

$$R = \frac{Va - Vb}{I}$$

Donde:

Va – Vb = Diferencia de tensión de trabajo entre los puntos a y b

I = Intensidad eléctrica

Ahora se procede a realizar la fórmula resultante para el cálculo de sección de los conductores que se usarán en nuestro proyecto.

Primero se iguala ambas fórmulas de la resistencia.

$$\frac{Va - Vb}{I} = \frac{L}{\sigma * S}$$

Después se despeja la sección del conductor y se obtiene lo siguiente:

$$S = \frac{L * I}{\sigma * (Va - Vb)}$$

En este punto se debe tener en cuenta algunos aspectos, como por ejemplo:

- La longitud será multiplicada por dos, debido que en un sistema eléctrico hay un cable para la polaridad positiva y otro para la polaridad negativa, dando como resultado la distancia real.
- La conductividad será considera con el valor 56, debido que el material del conductor para este sistema será de cobre.
- Para el cálculo de la diferencia de tensión de trabajo se debe multiplicar la tensión nominal del sistema con los diferentes porcentajes de caída de tensión que variara dependiendo de los equipos que se interconectan. Los cuales se muestran a continuación.

Tabla 21

Porcentaje de pérdida de tensión por tramo seleccionado

Tramo	Porcentaje de caída de tensión (%)
Panel – Regulador	3
Regulador – Batería	1
Línea Principal	3 - 4
Línea Principal - Iluminación CC	5

Fuente: Eliseo. (2013). Recuperado de <http://eliseosebastian.com/calcular-cables-conductores-para-paneles-fotovoltaicos-1/>

Con lo dicho previamente se obtiene la fórmula resultante:

$$S = \frac{2 * L * I}{56 * (Va - Vb)}$$

A continuación, se mostrará el esquema de los cables del sistema fotovoltaico “B” perteneciente al dimensionado de la opción N°1, elegido anteriormente como modelo a tomarse, además de las distancias que se encuentran los diferentes elementos que conforman este sistema.



Figura 47. Cables del sistema solar en la 4° Cubierta de la ENAMM

Fuente: Elaboración propia



Figura 48. Cables del sistema solar en la 3° Cubierta de la ENAMM vista N°1

Fuente. Elaboración propia



Figura 49. Cables del sistema solar en la 3° Cubierta de la ENAMM vista N°2

Fuente: Elaboración propia



Figura 50. Cables del sistema solar en la 2° Cubierta de la ENAMM

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22

Longitudes máximas de los diferentes tramos del sistema

Tramo	Longitud máxima (m)
Panel Fotovoltaico - Regulador	4.2
Regulador – Batería	1.4
Regulador - Distribuidor	1
Distribuidor - Panel de Control N°1	11.95
Distribuidor - Panel de Control N°2	13.73
Panel de Control N°1 - Último foco del pasadizo "N°3" lado izquierdo	13.95
Panel de Control N°1 - Último foco del pasadizo "N°3" lado derecho	13.33
Panel de Control N°2 - Último foco del pasadizo "N°4" lado izquierdo	10.33
Panel de Control N°2 - Último foco del pasadizo "N°4" lado derecho	13.80

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos se procede a realizar los siguientes cálculos. Teniendo en cuenta que:

- Tensión Nominal del sistema = 12 V
- Intensidad Eléctrica o Corriente Pico del Sistema (1) = 20 A
- Intensidad Eléctrica o Corriente Pico del Sistema (2) = 11 A
- Intensidad Eléctrica o Corriente Pico del Sistema (3) = 6 A
- Intensidad Eléctrica o Corriente Pico del Sistema (4) = 5 A
- Fórmula para el diámetro de un conductor. $\varnothing = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$

4.3.3.1 Cálculo de sección y diámetro de conductor del tramo

4.3.3.1.1 Panel Fotovoltaico – Regulador

- Sección:

$$S = \frac{2 * L * I_1}{56 * (Va - Vb)}$$

$$S = \frac{2 * 4.2 * 20}{56 * (12 * 3\%)} = 8.33 \text{ mm}^2$$

- Diámetro:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * 8.33}{\pi}} = 3.26 \text{ mm}$$

4.3.3.1.2 Regulador – Batería

- Sección:

$$S = \frac{2 * L * I_1}{56 * (Va - Vb)}$$

$$S = \frac{2 * 1.4 * 20}{56 * (12 * 1\%)} = 8.33 \text{ mm}^2$$

- Diámetro:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * 8.33}{\pi}} = 3.26 \text{ mm}$$

4.3.3.1.3 Regulador – Distribuidor

- Sección:

$$S = \frac{2 * L * I_2}{56 * (Va - Vb)}$$

$$S = \frac{2 * 1 * 11}{56 * (12 * 3\%)} = 1.09 \text{ mm}^2$$

- Diámetro:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * 1.09}{\pi}} = 1.17 \text{ mm}$$

4.3.3.1.4 Distribuidor - Panel de Control N°1

- Sección:

$$S = \frac{2 * L * I_3}{56 * (Va - Vb)}$$

$$S = \frac{2 * 11.95 * 6}{56 * (12 * 4\%)} = 5.33 \text{ mm}^2$$

- Diámetro:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * 5.33}{\pi}} = 2.61 \text{ mm}$$

4.3.3.1.5 Distribuidor - Panel de Control N°2

- Sección:

$$S = \frac{2 * L * I_4}{56 * (Va - Vb)}$$

$$S = \frac{2 * 13.73 * 5}{56 * (12 * 4\%)} = 5.11 \text{ mm}^2$$

- Diámetro:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * 5.11}{\pi}} = 2.55 \text{ mm}$$

4.3.3.1.6 Panel de Control N°1 - Último foco del pasadizo "N°3" lado izquierdo

- Sección:

$$S = \frac{2 * L * I_3}{56 * (Va - Vb)}$$

$$S = \frac{2 * 13.95 * 6}{56 * (12 * 5\%)} = 4.98 \text{ mm}^2$$

- Diámetro:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * 4.98}{\pi}} = 2.52 \text{ mm}$$

4.3.3.1.7 Panel de Control N°1 - Último foco del pasadizo “N°3” lado derecho

- Sección:

$$S = \frac{2 * L * I_3}{56 * (Va - Vb)}$$

$$S = \frac{2 * 13.33 * 6}{56 * (12 * 5\%)} = 4.76 \text{ mm}^2$$

- Diámetro:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * 4.76}{\pi}} = 2.46 \text{ mm}$$

4.3.3.1.8 Panel de Control N°2 - Último foco del pasadizo "N°4" lado izquierdo

- Sección:

$$S = \frac{2 * L * I_4}{56 * (Va - Vb)}$$

$$S = \frac{2 * 10.33 * 5}{56 * (12 * 5\%)} = 3.07 \text{ mm}^2$$

- Diámetro:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * 3.07}{\pi}} = 1.98 \text{ mm}$$

4.3.3.1.9 Panel de Control N°2 - Último foco del pasadizo "N°4" lado derecho

- Sección:

$$S = \frac{2 * L * I_4}{56 * (Va - Vb)}$$

$$S = \frac{2 * 13.80 * 5}{56 * (12 * 5\%)} = 4.11 \text{ mm}^2$$

- Diámetro:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * 4.11}{\pi}} = 2.29 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos de sección y diámetro de cable de los diferentes tramos que necesita el sistema fotovoltaico “B”, se procede a seleccionar el calibre AWG (American Wire Gauge) de los conductores, a través de la siguiente tabla:

Tabla 23

Calibre AWG según el diámetro y sección del conductor

AWG Gauge	Conductor Diameter (mm)	Conductor Cross Sectional Área (Square mm)
0000	11.68	107
000	10.40	85
00	9.27	67
0	8.25	53
1	7.35	42
2	6.54	34
3	5.83	27
4	5.19	21
5	4.62	17
6	4.11	13
7	3.67	11
8	3.26	8.4
9	2.91	6.6
10	2.59	5.3
11	2.30	4.2
12	2.05	3.3

13	1.83	2.6
14	1.63	2.1
15	1.45	1.7
16	1.29	1.3
17	1.15	1.0
18	1.02	0.8
19	0.91	0.7
20	0.81	0.5
21	0.72	0.4
22	0.65	0.33
23	0.57	0.26
24	0.51	0.20
25	0.45	0.16

Fuente: Amada Miyachi America, Inc. (2016). Recuperado de:
<http://spanish.amadamiyachi.com/glossary/glosswiregauge>

Obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 24

Calibres resultantes de los diferentes tramos del sistema fotovoltaico "B"

Tramo	Sección (mm ²)	Diámetro (mm)	Calibre (AWG)
Panel Fotovoltaico – Regulador	8.33	3.26	8
Regulador – Batería	8.33	3.26	8
Regulador - Distribuidor	1.09	1.17	16
Distribuidor - Panel de Control N°1	5.33	2.61	10
Distribuidor - Panel de Control N°2	5.11	2.55	10
P. Control N°1 - Último foco del pasadizo "N°3" lado izquierdo	4.98	2.52	10
P. Control N°1 - Último foco del pasadizo "N°3" lado derecho	4.76	2.46	10
P. Control N°2 - Último foco del pasadizo "N°4" lado izquierdo	3.07	1.98	12
P. Control N°2 - Último foco del pasadizo "N°4" lado derecho	4.11	2.29	12

Fuente: Elaboración propia

Debido que se toma como modelo de diseño a la opción N°1, conformado por dos sistemas solares autónomos, en este caso solo faltaría realizar el cálculo del sistema fotovoltaico “A”, debido que ya se realizó para el sistema fotovoltaico “B”.

Antes de realizar este proceso se afirma que el resultado del sistema fotovoltaico “A” será lo mismo que del “B” porque tienen dimensiones similares con un porcentaje de diferencia muy pequeño. Dicho lo anterior se procede al cálculo del resultado final, indicando la longitud total de los diversos cables a utilizar para este proyecto.

Tabla 25

Longitudes finales de los diferentes calibres seleccionados del diseño de la opción N° 1

Calibre (AWG)	Sistema fotovoltaico “B”	Sistema fotovoltaico “A”	Resultado final (m)
	Longitud (m)	Longitud (m)	
16	1	1	2
12	24.13	24.13	48.26
10	52.96	52.96	105.92
8	5.6	5.6	11.2

Fuente: Elaboración propia

Además de la selección del calibre de los conductores, se debe realizar la selección del tipo de cable, de acuerdo a lo establecido por la NEC (National Electric Code), el cual es un término estándar de los Estados Unidos para la instalación segura de cables y equipos eléctricos, clasificando a los cables para diversos usos, como se observa a continuación:

Tabla 26

Tipos de conductores eléctricos según la NEC (National Electrical Code)

Uso	Tipo de cable	
Para lugares secos e interiores (dentro de casas)	NM	Non – Metallic
	TW	Thermoplastic Building Wire Moisture (Water)
Para ambientes húmedos y altas temperaturas	THW	Thermoplastic High Heat and Moisture (Water) Resistant
	NMC	Non - Metallic Coverage
Ubicación bajo tierra y resistentes a alta temperatura o cerca a llamas, mayor a 90°C	THHN	Thermoplastic High Heat Nylon
Para exteriores, resistente a la luz del sol o ambiente normal	UF	Underground Feeder
	USE	Underground Service Entrance

Fuente: Eliseo. (2016). Recuperado de: <http://eliseosebastian.com/cables-electricos/>

Según la información anterior se elige el tipo de cable THW para nuestro proyecto, debido a que el ambiente en que estará expuesto nuestro sistema será en ocasiones húmedo como también de altas temperaturas.

Como último proceso se realizará el cálculo del costo total de la cantidad de cables eléctricos que se va necesitar para este proyecto.

Para esta estimación se tiene diversos inconvenientes como los que se mencionan a continuación:

- La primera se refiere a la venta de cables se daba en rollos de 100 metros, por lo cual era un punto negativo ya que se cuenta con cables de diferentes calibres con longitudes pequeñas; por lo que adquirir un rollo para cada uno, solo para esas longitudes representa un aumento en los costos.

Dicho lo anterior se llevó a cabo lo siguiente:

- Se juntaron dos cables de diferentes calibres para poder sumar una longitud aproximada de 100 metros.
- De los cables que se agruparon se escogió como resultante al cable de menor calibre.

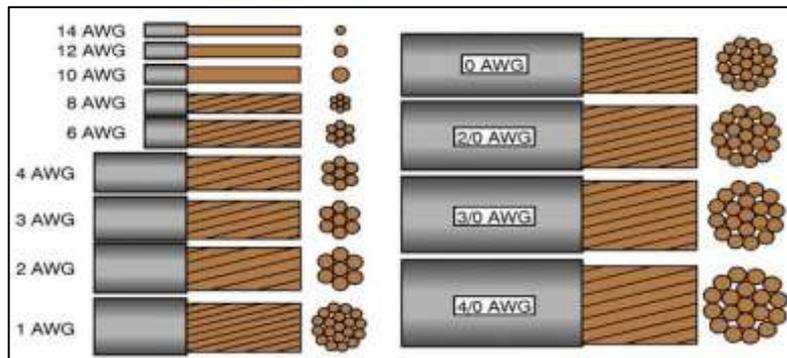


Figura 51. Calibre de conductores

Fuente: Recuperado de <http://faradayos.blogspot.pe/cables.html>

Tabla 27

Valoración económica total de los cables seleccionados para el sistema fotovoltaico "A" y "B" de la opción N° 1

Modelo	Marca	Calibre (AWG)	Longitud (m)	Calibre resultante (AWG)	Longitud resultante (m)	Precio por rollo de 100m (S/.)	Precio total (S/.)
THW - 90	INDECO empresa Nexans	16	2	12	50.26	114.00	683.80
		12	48.26				
		10	105.92				
		8	11.2				

Fuente: Manual de Electricidad y Gasfitería MAESTRO Homecenter S.A.C, 2da ed. (2016)

4.4 Cálculo y selección del regulador de carga

Para la elección de este dispositivo, se deberá tener en cuenta tres puntos importantes:

1. La aplicación a la que esté dirigida, por ejemplo: electrónico, automotriz, sistema solar, etc.
2. La tensión nominal del sistema, por ejemplo: 12 V, 24 V, 48 V, etc.
3. La corriente máxima de generación en el sistema.

En contraste con lo anterior, la aplicación será para un sistema solar de 12V, teniendo como ausencia la corriente máxima del sistema, el cual viene hacer la intensidad de cortocircuito de los módulos multiplicado por el número de módulos en paralelo, a su vez como método de protección se le debe aumentar un 25% al resultado, para sobredimensionar la capacidad del controlador y así sea capaz de resistir sin algún daño severo una sobrecarga.

DATOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO "A" DE LA OPCIÓN N°1:

- Número de paneles = 2 en paralelo
- Factor de protección = 1.25
- Corriente máxima de un panel solar (I_{sc}) = 8.88 A

Con estos datos se realiza el siguiente cálculo.

$$I_{max} = I_{sc} * N^{\circ} \text{ de paneles} * \text{Factor de protección}$$

$$I_{max} = 8.88 * 2 * 1.25 = 22.2 \text{ A}$$

Luego se procede a elegir un regulador con una capacidad mayor al valor obtenido, llegándose a encontrar un controlador de 25 A, que es el ideal para el sistema.

Sensor	Origen	Potencia	Descripción	Foto
<p>NUEVO CONTROLADOR MPPT DE MORNINGSTAR!</p> <p>ProStar MPPT-25M</p> <p>Y</p> <p>ProStar MPPT-40M</p>		<p>Sistemas nominales de 12 / 24V</p> <p>Entrada de string: hasta 120Voc</p> <p>Modelos disponibles con:</p> <p>25A</p> <p>y</p> <p>40A</p>	<p>El nuevo controlador de Morningstar cierra la brecha entre los economicos controladores PWM y los high end controladores TS-MPPT.</p> <p>Totalmente renovado en diseño y listo para los retos del futuro el controlador incorpora un display de gráficos y un datalogger como un interfase MODBUS. Usando el accesorio UMC1 (opcional) el cliente no solamente puede acceder a la información de los últimos 256 días en cuanto a información detallada de potencia y carga sino pasar esta información a un PC usando MODBUS.</p> <p>Los controladores adicionalmente disponen de un programa de encendido / apagado automatico para manejar cargas de iluminación. Se puede libremente programar los eventos de iluminación en base a niveles de insolación de los paneles..</p> <p>Claro que cuenta con todas las protecciones y LVD - desconexión automática de la carga cuando la batería está agotada. Tres LEDs adicionalmente a la pantalla indican el estado de la batería y la recarga.</p> <p>Completamente en estado sólido para ambientes trópicos. Seleccionable para baterías selladas , Gel y de plomo acido liquido y adicionalmente para baterías de Litio!</p>	 

Figura 52. Selección de regulador

Fuente: Recuperado de <http://www.proviento.com.pe/controladores.html>

Ahora se realizará la estimación de costo del regulador de carga para la opción N°1. Para ello se necesita ciertos datos como:

- Costo por unidad de regulador = \$ 350 (- IGV)
- Periodo de vida de cada regulador = No limitado si tiene un buen cuidado
- Cantidad = 2, uno es para el sistema fotovoltaico “A” y el otro para el “B”

Tabla 28

Valoración económica del regulador seleccionado para los sistemas solares de la opción N° 1

Regulador	Cantidad Total	Costo unidad (- IGV)	Incluyendo IGV	Cambio de moneda (de \$ a S/.)	Total (S/.)
PROSTAR MPPT-40M 12V	2	\$ 350	1.18	3.3	2725.8

Fuente: Elaboración propia

4.5 .Cálculo y selección de las luminarias

La selección de las luminarias será de tipo LED, debido que son de bajo consumo, tiene un menor porcentaje de pérdidas de energía en forma de calor y además tiene un tiempo de vida superior a los de uso convencional, como los focos incandescentes, ahorradores y fluorescentes.

Además, cabe mencionar que el voltaje de estas luminarias será de 12V ya que los sistemas fotovoltaicos aplicados en este proyecto trabajan con esa tensión eléctrica a corriente continua. Por otro lado, la potencia de consumo de las luminarias se realizará de la siguiente manera:

Se utilizará los valores que sugieren algunos especialistas para una iluminación recomendada sobre un determinado espacio. Lo cual se mostrará a continuación a través de una tabla en cual nos indica cuanta intensidad luminosa o lúmenes se necesita por cada pie cuadrado (1 ft²) para obtener una iluminación aceptable.

Tabla 29

Datos de intensidad luminosa para una buena iluminación

Lugar	Lúmenes	Espacio
Dormitorios	15	
Pasillos	7.5	
Comedores	35	
Cocinas	35	1 ft ²
Oficinas	35	
Baños	75	
Lavandería	75	

Fuente: Cómo calcular lúmenes por tamaño de la habitación. (2013).

Recuperado de: http://www.ehowenespanol.com/calcular-lumenes-tamano-habitacion-como_442610/

Para el cálculo se tomará datos de la tabla referentes a pasillos, asimismo se necesita la medida del espacio en pie cuadrado (ft²) que va alumbrar un foco sobre el pasillo de la segunda cubierta de la ENAMM, para ello se ha elegido el de mayor dimensión; mostrándole a continuación.

DATOS:

- Espacio máximo de iluminación de un foco LED = 11.328 m²

Convirtiéndolo en pie cuadrados (ft²) resultaría:

REGLA DE TRES SIMPLES:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ ft}^2 & \text{---} & 0.092903 \text{ m}^2 \\ (x) \text{ ft}^2 & \text{---} & 11.328 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$(x) = \frac{1 \text{ ft}^2 * 11.328 \text{ m}^2}{0.092903 \text{ m}^2} = 121.93 \text{ ft}^2$$

Con este dato se aplica la fórmula para hallar la cantidad de lúmenes que necesita cada foco LED para alumbrar dicho espacio.

REGLA DE TRES SIMPLES:

$$\begin{array}{rcl} 7.5 \text{ lumenes} & - - - - & 1 \text{ ft}^2 \\ (y) \text{ lumenes} & - - - - & 121.93 \text{ ft}^2 \end{array}$$

$$(y) = \frac{7.5 \text{ lm} * 121.93 \text{ ft}^2}{1 \text{ ft}^2} = 914.48 \text{ lm}$$

Por último, se buscará un foco LED de las siguientes características:

- Voltaje = 12V
- Lúmenes = ≤ 915
- Color = Blanca Fría
- Tipo rosca: E27

Buscando en diversas tiendas que venden este tipo de luminarias, se encontró un foco LED de marca EVER con un consumo de 12 W y 950 lúmenes, siendo idóneo para el sistema fotovoltaico. Además tiene un tiempo de vida útil de 60000 horas y un costo por unidad de S/. 25.

Seguidamente se calcula la estimación de costo de las luminarias que se van usar.

Tabla 30

Valoración económica total de los focos LED seleccionados con un tiempo de vida máxima de 28 años para los sistemas de la opción N° 1

Pasillo	Sistema fotovoltaico	Cantidad	Cantidad Total	Precio unidad (S/)	Precio total (S/.)
N° 1	A	5	22	25	550
N° 2		6			
N° 3	B	6			
N° 4		5			

Fuente: Autores

4.6 Cálculo y selección de protecciones de corriente continua

Para brindar seguridad al personal encargado de la supervisión de operatividad del sistema fotovoltaico y así evitar riesgos de accidentes, además del deterioro en los equipos que lo conforman, se necesitará para ello de ciertos elementos de protección.

Para el cálculo y selección de estas protecciones se utiliza la normativa básica ITC-BT-22 e ITC-BT-23 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

Lo cual indica, que un dispositivo protege a un conductor contra sobrecargas y sobretensiones si se verifican las siguientes condiciones:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_C \leq 1.45 * I_Z$$

Donde:

I_B = Es la corriente de empleo o de utilización.

I_N = Es la corriente nominal del dispositivo de protección.

I_Z = Es la corriente máxima admisible por el elemento a proteger.

I_C = Es la corriente convencional de funcionamiento del dispositivo de protección (fundición del filamento del fusible y disparo de los interruptores magneto térmicos).

En la protección por magneto térmico siempre se cumple la segunda condición, debido que $I_C = 1.45 * I_N$, por ello sólo se debe verificar la primera condición.

En la protección por fusible se cumple que $I_C = 1.6 * I_N$, por ello se debe verificar las dos condiciones de la norma.

4.6.1 Fusibles

Es necesario indicar que un fusible es un componente de seguridad utilizado para prevenir daños por exceso de corriente eléctrica en un circuito eléctrico. Está compuesto esencialmente por un conductor fino que se deshace o rompe si la corriente del circuito excede un valor predeterminado. Habrá un fusible para cada conductor, es decir uno para la polaridad positiva y otro para la polaridad negativa. (Fusibles, 2016)

Para el cálculo se necesitará de tres datos importantes, el cual se indica cómo hallar sus respectivos valores.

- I_B será igual a la corriente pico del sistema
- I_Z se obtendrá de la Tabla 5. Donde se muestra las intensidades admisibles de los conductores de cobre según el método de instalación, número de conductores, tipo de aislamiento y sección del conductor en mm^2 .
- I_N se obtendrá de la Tabla 6. Donde se muestra las intensidades nominales normalizadas de los fusibles de baja tensión.

Tabla 31

Intensidades máximas admisibles en temperatura ambiente 40°C

Conductores aislados en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotrados en obra. B1		
Conductor	mm ²	Amperes (A)
Cobre	1.5	15
	2.5	21
	4	27
	6	36
	10	50
	16	66
	25	84
	35	104
	50	125
	70	160
	95	194
120	225	

Fuente: Intensidades en Amperios. (2004). Recuperado de:
https://emacsan.wikispaces.com/file/view/UNE_2020460.pdf

Tabla 32

Intensidades nominales normalizadas para fusibles de baja tensión

2	4	6	10	16	20	25	30
40	50	63	80	100	125	160	200
250	315	400	425	500	630	800	1000

Fuente: Instalaciones eléctricas en media y baja tensión. 7a ed. (2016). Recuperado de:
<http://www.paraninfo.es/instalaciones-electricas-en-media-y-baja-tension-edicion-2016->

Ahora se procederá a realizar el cálculo para los siguientes tramos:

A) Paneles Solares ----- Regulador de Carga

Para este caso el método de instalación es B1, el tipo de aislamiento y número de conductores es PVC-2. La sección del conductor en este tramo de la instalación es de 8,3 mm², de modo que se tiene que interpolar para hallar el parámetro I_Z , que se usará para el dimensionado del fusible:

INTERPOLACIÓN:

10 mm ²	-----	50 A
8.33 mm ²	-----	I_Z
6 mm ²	-----	36 A

$$\frac{6 - 10}{8.33 - 10} = \frac{36 - 50}{I_Z - 50}$$

$$I_Z = 44.16 A$$

Ahora falta hallar el parámetro de I_B , que se obtiene de la siguiente manera:

$$I_B = I_{mpp}(\text{módulo}) * N^\circ \text{ de módulos}$$

$$I_B = 8.42 A * 2 = 16.84 A$$

Estos datos serán usados para aplicarse en las condiciones de elección de la corriente nominal mínima del fusible:

CONDICIÓN 1:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$16.84 A \leq I_N \leq 44.16 A$$

$$I_N = 20 A$$

A continuación, se calculará la corriente convencional de fusión de este fusible comprobándose si la dimensión de los fusibles es la correcta o por el contrario debe buscarse un valor mayor que cumpla lo siguiente:

CONDICIÓN 2:

$$I_C \leq 1.45 * I_Z$$

Para ello se necesitará hallar el I_C , que viene hacer:

$$I_C = 1.6 * I_N$$

$$I_C = 1.6 * 20 A = 32 A$$

Finalmente se reemplaza los datos, para saber si cumple con la última condición.

$$I_C \leq 1.45 * I_Z$$

$$32 A \leq 1.45 * 44.16 A$$

$$32 A \leq 64.032 A$$

Al observar que las dos condiciones se cumplen, se utilizará fusible de 20 A en cada conductor tanto el de polaridad positiva como el de negativa.

B) Regulador de Carga ----- Batería

Para este caso el método de instalación es A1, el tipo de aislamiento y número de conductores es PVC-2. La sección del conductor en este tramo de la instalación es de 8,3 mm², de modo que se tendrá que interpolar para hallar el parámetro I_Z , que se usará para el dimensionado del fusible:

INTERPOLACIÓN:

10 mm ²	-----	50 A
8.33 mm ²	-----	I_Z
6 mm ²	-----	36 A

$$\frac{6 - 10}{8.33 - 10} = \frac{36 - 50}{I_Z - 50}$$

$$I_Z = 44.16 A$$

Ahora falta hallar el parámetro de I_B , que se obtiene de la siguiente manera:

$$I_B = I_{mpp}(\text{módulo}) * N^\circ \text{ de módulos}$$

$$I_B = 8.42 A * 2 = 16.84 A$$

Estos datos serán usados para aplicarse en las condiciones de elección de la corriente nominal mínima del fusible:

CONDICIÓN 1:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$16.84 A \leq I_N \leq 44.16 A$$

$$I_N = 20 A$$

A continuación, se calculará la corriente convencional de fusión de este fusible, comprobándose si la dimensión de los fusibles es la correcta o por el contrario debe buscarse un valor mayor que cumpla lo siguiente:

CONDICIÓN 2:

$$I_C \leq 1.45 * I_Z$$

Para ello se necesitará hallar el I_C , que viene hacer:

$$I_C = 1.6 * I_N$$

$$I_C = 1.6 * 20 A = 32 A$$

Finalmente se reemplaza los datos, para saber si cumple con la última condición.

$$I_C \leq 1.45 * I_Z$$

$$32 A \leq 1.45 * 44.16 A$$

$$32 A \leq 64.032 A$$

De modo que las dos condiciones cumplen, se utilizará fusible de 20 A en cada conductor tanto el de polaridad positiva como el de negativa.

C) Distribuidor ----- Panel de Control N°1

Para este caso el método de instalación es A1, además el tipo de aislamiento y número de conductores es PVC-2. La sección del conductor en este tramo de la instalación es de 5,33 mm², de modo que se tendrá que interpolar para hallar el parámetro I_z , que se usará para el dimensionado del fusible:

INTERPOLACIÓN:

6	mm ²	-----	36 A
5.33	mm ²	-----	I_z
4	mm ²	-----	27 A

$$\frac{4 - 6}{5.33 - 6} = \frac{27 - 36}{I_z - 36}$$

$$I_z = 32.99 A$$

Seguidamente se procede a hallar el parámetro de I_B , que se obtiene de la siguiente manera:

$$I_B = \frac{\text{Potencia Total}}{\text{Voltaje del Sistema}}$$

$$I_B = \frac{\text{Potencia Unitaria} * \text{Cantidad de luminarias}}{\text{Voltaje del Sistema}}$$

$$I_B = \frac{12 W * 6}{12 V} = 6 A$$

Estos datos serán usados para aplicarse en las condiciones de elección de la corriente nominal mínima del fusible:

CONDICIÓN 1:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$6 A \leq I_N \leq 32.99 A$$

$$I_N = 10 A$$

A continuación se calculará la corriente convencional de fusión de este fusible comprobándose si la dimensión de los fusibles es la correcta o por el contrario debe buscarse un valor mayor que cumpla lo siguiente:

CONDICIÓN 2:

$$I_C \leq 1.45 * I_Z$$

Para ello se necesitará hallar el I_C que viene hacer:

$$I_C = 1.6 * I_N$$

$$I_C = 1.6 * 10 A = 16 A$$

Finalmente se reemplaza los datos, para saber si cumple con la última condición.

$$I_C \leq 1.45 * I_Z$$

$$16 A \leq 1.45 * 32.99 A$$

$$32 A \leq 47.84 A$$

De modo que las dos condiciones cumplen, se utilizará fusible de 10 A en cada conductor tanto el de polaridad positiva como el de negativa.

D) Distribuidor ----- Panel de Control N°2

Para este caso el método de instalación es A1, el tipo de aislamiento y número de conductores es PVC-2. La sección del conductor en este tramo de la instalación es de 5,11 mm², de modo que se tendrá que interpolar para hallar el parámetro I_z , que se usará para el dimensionado del fusible:

INTERPOLACIÓN:

6	mm ²	-----	36 A
5.11	mm ²	-----	I_z
4	mm ²	-----	27 A

$$\frac{4 - 6}{5.11 - 6} = \frac{27 - 36}{I_z - 36}$$

$$I_z = 31.99 A$$

Para hallar el parámetro de I_B , se obtiene de la siguiente manera:

$$I_B = \frac{\textit{Potencia Total}}{\textit{Voltaje del Sistema}}$$

$$I_B = \frac{\textit{Potencia Unitaria * Cantidad de luminarias}}{\textit{Voltaje del Sistema}}$$

$$I_B = \frac{12 W * 5}{12 V} = 5 A$$

Estos datos serán usados para aplicarse en las condiciones de elección de la corriente nominal mínima del fusible:

CONDICIÓN 1:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$5 A \leq I_N \leq 31.99 A$$

$$I_N = 6 A$$

A continuación se calculará la corriente convencional de fusión de este fusible comprobándose si la dimensión de los fusibles es la correcta o por el contrario debe buscarse un valor mayor que cumpla lo siguiente:

CONDICIÓN 2:

$$I_C \leq 1.45 * I_Z$$

Para ello se necesitará hallar el I_C , el cual se realiza de la siguiente manera:

$$I_C = 1.6 * I_N$$

$$I_C = 1.6 * 6 A = 9.6 A$$

Finalmente se reemplaza los datos, para comprobar si cumple con la última condición.

$$I_C \leq 1.45 * I_Z$$

$$9.6 A \leq 1.45 * 31.99 A$$

$$9.6 A \leq 46.39 A$$

De modo que las dos condiciones cumplen, se utilizará fusible de 6 A en cada conductor tanto el de polaridad positiva como el de negativa.

Terminando con el cálculo de intensidad nominal de los fusibles, se debe realizar también la selección del tipo fusible según la funcionalidad que van a desempeñar.

Tabla 33

Tipos de Fusibles

Tipo	Funcionalidad
gG	Fusible de uso para la protección de líneas y cables contra sobretensiones y sobrecargas
aM	Fusible de uso para la protección de circuitos con motores
gR	Fusible de uso general para semiconductores
aR	Fusible de rango parcial para la protección de semiconductores

Fuente: Apararmenta de protección en baja tensión. (s.f). Recuperado de:
http://www.kps-soluciones.es/descargas/KPS/Cat_Fusibles_KPS.pdf.

Según lo dicho anteriormente, se decide escoger para los cuatro tramos diferentes, el fusible de tipo gG.

Tabla 34

Fusibles elegidos de los diferentes tramos de marca Bussmann – 12V

Tramo	Tipo	In (A)	Cantidad	Precio unidad (S/.)	Precio total (S/.)	Costo Final (S/.)
Paneles - Regulador	gG	20	2	4	8	
Regulador - Batería	gG	20	2	4	8	32
Distribuidor - P.C N°1	gG	10	2	4	8	
Distribuidor - P.C N°2	gG	6	2	4	8	

Fuente: Elaboración propia



Figura 53. Fusible 20 A – 12 V

Fuente: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41O69uAK1yL.jpg>

4.6.2 Portafusibles

Se debe considerar que para la operatividad de estos fusibles se debe hacer uso de dispositivos o elementos llamados portafusibles, que tienen el objetivo de la conexión con los conductores y además de resguardar y proteger al fusible de todo tipo de circunstancias. Para ello los fusibles deben estar ubicados en el interior del portafusible, aislándolo de la humedad o agua para que no provoque un mal desempeño.

Tabla 35

Intensidades nominales normalizadas para portafusibles de baja tensión

16	20	32	40	63	80	100
160	250	400	630	800	1000	

Fuente: Instalaciones eléctricas en media y baja tensión. 7a ed. (2016). Recuperado de: <http://www.paraninfo.es/instalaciones-electricas-en-media-y-baja-tension-2016->

En la selección del portafusible para los diferentes tramos se ha escogido el que tiene una intensidad nominal de 32 A, debido que las de 16 A y 20 A no son del tipo montaje en carril DIN. Por ello se hace dicha elección.



Figura 54. Portafusible 32 A – 12 V

Fuente: Recuperado de <http://www.tme.eu/es/details/pmx10x38-1i-12/fusibles-enchufes-para-rail-din/df-electric/485114/>.

Tabla 36

Valoraciones económicas de los portafusibles tubulares de montaje carril DIN – 32 A, 12 V seleccionadas

Tramo	Marca	Cantidad	Precio unidad (S/.)	Precio total (S/.)	Costo Final (S/.)
Paneles - Regulador	DF ELECTRIC	2	19.28	38.56	
Regulador - Batería	DF ELECTRIC	2	19.28	38.56	
Distribuidor - P.C N°1	DF ELECTRIC	2	19.28	38.56	154.24
Distribuidor - P.C N°2	DF ELECTRIC	2	19.28	38.56	

Fuente: Catálogo de fusibles y medios de protección - fusibles y enchufes para raíl DIN.

Recuperado de: <http://www.tme.eu/es/details/pmx10x38-1i-12/fusibles-enchufes-para-rail-din/df-electric/485114/>.

4.7 Equipos del sistema

El sistema queda determinado, bajo datos elementales que son tomados como base de cálculo, los cuales son: 3,3 KWh/m²-día y 3 días de autonomía, disponiendo así de los siguientes equipos.

Tabla 37

Equipos seleccionados para el sistema fotovoltaico

Ítem	Equipo	Característica	Marca
1	Panel Fotovoltaico	Monocristalino 12Vcc, 150 Wp	SOLARLAND
2	Batería	Ciclo Profundo – Tipo Gel 12 Vcc, 150 Ah – C10h	ULTRACELL
3	Conductor	Calibre: <ul style="list-style-type: none">• 12 AWG – Tipo THW• 10 AWG – Tipo THW• 8 AWG – Tipo THW	INDECO
4	Regulador de Carga	Tipo MMTP 12 Vcc, 25 A	MORNINGSTAR
5	Luminaria	Foco LED 12 Vcc, 12 W	EVER

Fuente: Elaboración propia

También cabe señalar que se hará uso de herramientas e instrumentos necesarios para la instalación de los equipos, a efectos de instalar el sistema de forma segura y eficiente:

Tabla 38

Herramientas e instrumentos a utilizar

Ítem	Descripción
1	Alicate de corte aislado
2	Alicate universal aislado
3	Destornilladores planos
4	Destornilladores estrellas
5	Llaves mixtas
6	Multímetro
7	Flexometro o Wincha
8	Taladro eléctrico
9	Martillo
10	Arco y hoja de sierra

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA

5.1 Presupuesto de instalación

A continuación se detalla de manera general el presupuesto que se requiere para implementar un sistema fotovoltaico en las instalaciones de la ENAMM.

Tabla 39

Lámina de costos del sistema fotovoltaico "A" y "B" según el diseño de la opción N° 1

Equipo	Descripción	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Precio total (S/.)	Costo de instalación inicial (S/.)
Panel Fotovoltaico	12Vcc, 150 Wp	4	450	1800	
Batería	12 Vcc, 150 Ah – C10h	8	650	5200	
Cableado para el Sistema Fotovoltaico	12 AWG – Tipo THW	1 Rollo (100m)	114.00		
	10 AWG – Tipo THW	1 Rollo (100m)	219.90	683.80	11145.84
	8 AWG – Tipo THW	1 Rollo (100m)	349.90		
Regulador de Carga	12 Vcc, 40 A	2	1362.9	2725.8	
Luminaria	Foco LED 12 Vcc, 12 W	22	25	550	
Sistema de protección	Fusible	8	4	32	
	Porta fusible	8	19.28	154.24	

Fuente: Elaboración propia

5.2 Costos de reemplazo para un periodo aproximado de 30 años

Tabla 40

Lámina de costos del proyecto con un tiempo de vida útil alrededor de 30 años según diseño de la opción N° 1

Elemento	Cantidad inicial	Vida útil (años)	Costo de instalación (S/.)	Alargue de vida útil por reemplazo	Cantidad total	Costo total (S/.)	Costo final proyecto (S/.)
Panel Solar	4	25 - 30	1800			1800	
Fusible	8	25 - 30	32			32	
Portafusible	8	25 - 30	154.24			154.24	
Cableado Sist. Solar	3 rollos	25 - 30	683.80			683.80	16345.84
Regulador	2	25 - 30	2725.8			2725.8	
Luminaria	22	28 - 33	550			550	
Batería	8	13 - 15	5200	26 - 30	16	10400	

Fuente: Elaboración propia

5.3 Recuperación de la inversión

Según el registro tarifario para suministros con alimentación a tensiones nominales (MT3), realizado por OSINERG (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía) desde el año 1995 hasta el 2016, correspondiente a la empresa EDELNOR; nos indica que los costos de los siguientes cargos aumenta cada año un porcentaje de:

- Cargo por energía activa en horas de punta = 4.5%

Estos resultados son de acuerdo a la media aritmética de todos los años mencionados anteriormente.

Tabla 41

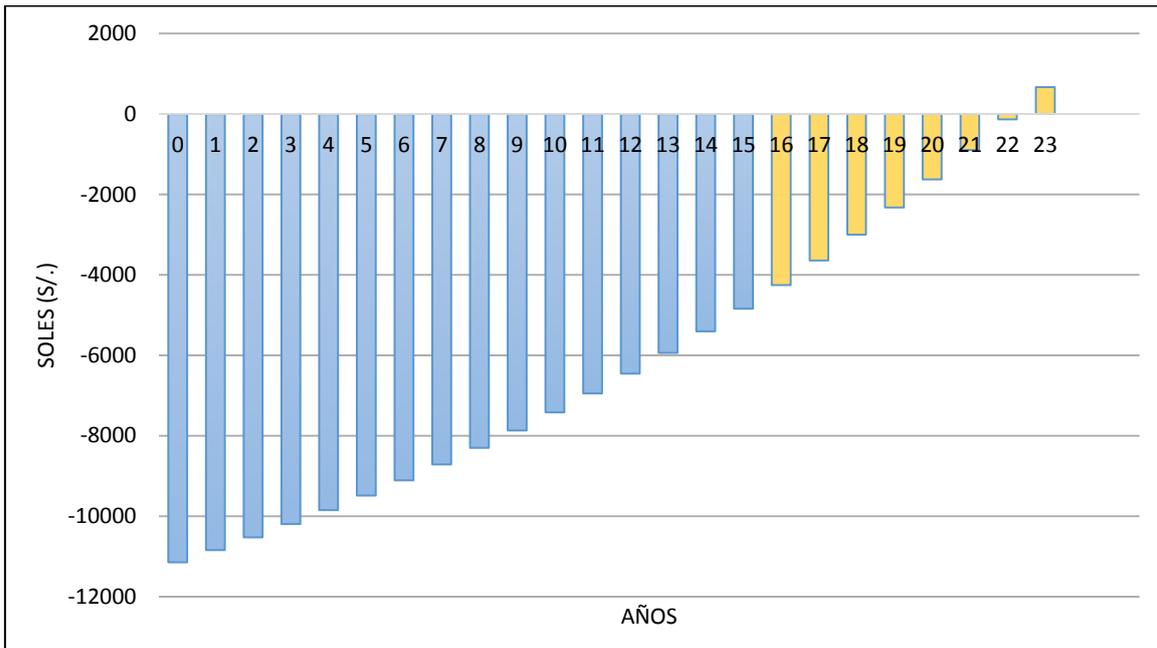
Costos de producción de la energía según la tarifa eléctrica (MT3) contratada

Año	Energía Activa horas punta (S/. /kWh)	Costo anual (S/.)		Costo anual total (S/.)	Costo de suma total escalonado descendente (S/.)
		Foco ahorrador 32 W	Foco ahorrador 27 W		
1	0.2618	150.80	152.68	303.48	303.48
2	0.2736	157.59	159.56	317.15	620.63
3	0.2859	164.68	166.74	331.42	952.05
4	0.2988	172.11	174.26	346.37	1298.42
5	0.3122	179.83	182.08	361.91	1660.33
6	0.3262	187.89	190.24	378.13	2038.46
7	0.3409	196.36	198.81	395.17	2433.63
8	0.3562	205.17	207.74	412.91	2846.54
9	0.3722	214.39	217.07	431.46	3278.00
10	0.3889	224.01	226.81	450.82	3728.82
11	0.4064	234.09	237.01	471.10	4199.92
12	0.4247	244.63	247.69	492.32	4692.24
13	0.4438	255.63	258.82	514.45	5206.69
14	0.4638	267.15	270.49	537.64	5744.33
15	0.4847	279.19	282.68	561.87	6306.20
16	0.5065	291.74	295.39	587.13	6893.33
17	0.5293	304.88	308.69	613.57	7506.90

18	0.5531	318.59	322.57	641.16	8148.06
19	0.5780	332.93	337.09	670.02	8818.08
20	0.6040	347.90	352.25	700.15	9518.23
21	0.6312	363.57	368.12	731.69	10249.92
22	0.6596	379.93	384.68	764.61	11014.53
23	0.6893	397.04	402.00	799.04	11813.57
24	0.7203	414.89	420.08	834.97	12648.54
25	0.7527	433.56	438.97	872.53	13521.07
26	0.7866	453.08	458.75	911.83	14432.90
27	0.8220	473.47	479.39	952.86	15385.76
28	0.8590	494.78	500.97	995.75	16381.51
29	0.8977	517.08	523.54	1040.62	17422.13
30	0.9381	540.35	547.10	1087.45	18509.58

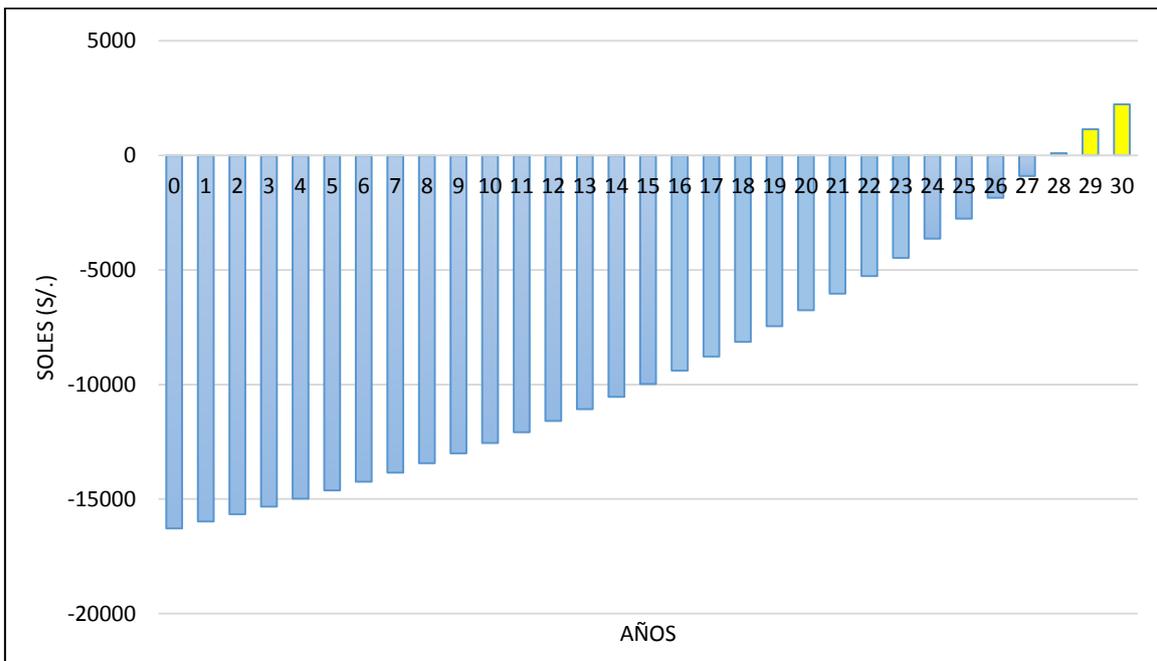
Fuente: OSINERG. (2016)

Grafica 2. Retorno de inversión de instalación inicial



Fuente: Elaboración propia

Grafica 3. Retorno de inversión para una instalación prolongada a 30 años



Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos en la tabla anterior, se puede apreciar a través de las gráficas que la instalación inicial del sistema con un tiempo de vida útil de 15 años como máximo se amortizaría en el vigésimo tercero año de funcionamiento y considerando solo hasta su tiempo de vida útil se estaría perdiendo S/. 4,839.64 con respecto al monto de inversión inicial; por otro lado, se observa que al prolongar el sistema a una vida útil de 30 años como máximo el retorno de inversión sería al vigésimo octavo año, siendo de esta manera el comienzo a obtener beneficios a partir de este año hasta los dos siguientes, con un monto de S/. 2,229.74.

Ante esta situación, el sistema fotovoltaico autónomo NO ES RENTABLE, siendo necesario buscar otras opciones para mejorar la rentabilidad del proyecto y disminuir el tiempo de recuperación de la inversión.

5.4 Análisis costo – beneficio

En esta sección se realizó una comparación de costos entre dos situaciones diferentes, las cuales se mostraran a continuación:

A) Costo del Sistema de Energía Convencional

En esta primera situación se representa el costo que tendrá que pagar la ENAMM si continúa con su sistema de iluminación convencional, abarcando desde la fecha actual hasta la cantidad de años que aproximadamente dure un sistema de generación fotovoltaica, comprendiendo un máximo de 30 años.

Tabla 42

Costo total del sistema convencional

Año	Costo de Energía horas punta (S/. /kWh)	Costo anual (S/.)
2017	0.2618	303.48
2018	0.2736	317.15
2019	0.2859	331.42

2020	0.2988	346.37
2021	0.3122	361.91
2022	0.3262	378.13
2023	0.3409	395.17
2024	0.3562	412.91
2025	0.3722	431.46
2026	0.3889	450.82
2027	0.4064	471.10
2028	0.4247	492.32
2029	0.4438	514.45
2030	0.4638	537.64
2031	0.4847	561.87
2032	0.5065	587.13
2033	0.5293	613.57
2034	0.5531	641.16
2035	0.5780	670.02
2036	0.6040	700.15
2037	0.6312	731.69
2038	0.6596	764.61
2039	0.6893	799.04
2040	0.7203	834.97
2041	0.7527	872.53
2042	0.7866	911.83
2043	0.8220	952.86
2044	0.8590	995.75
2045	0.8977	1040.62
2046	0.9381	1087.45
	Costo total (S/.)	18509.58

Fuente: Autores

B) Costo del Sistema Fotovoltaico

En esta segunda situación se representa el costo de inversión que tiene la ENAMM al instalar el sistema de generación fotovoltaica para iluminación de los pasadizos de la segunda cubierta del patio principal de dicha institución académica.

Tabla 43

Costo del sistema fotovoltaico

Elemento	Cantidad total	Costo de instalación total (S/.)
Panel Solar	4	1800
Fusible	8	32
Portafusible	8	154.24
Cableado	3 rollos	683.80
Regulador	2	2725.8
Luminaria	22	550
Batería	16	10400
Costo final del sistema (S/.)		16345.84

Fuente: Autores

Seguidamente con estos dos datos se procedió a calcular el ahorro económico, como así también su representación gráfica.

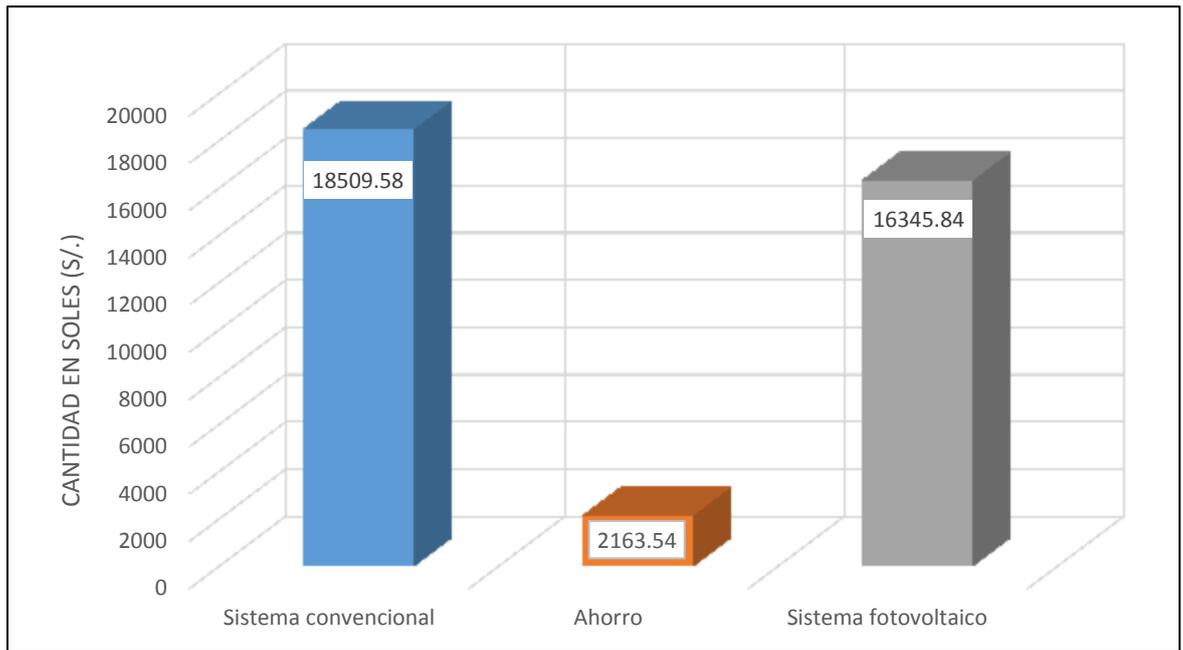
Tabla 44

Ahorro económico

Costo del sistema de energía convencional	S/. 18509.58
Costo del sistema fotovoltaico	S/. 16345.84
Ahorro	S/. 2163.54
Porcentaje de ahorro	11.688758 %

Fuente: Autores

Gráfica 4. Comparación de gasto entre los sistemas convencional y fotovoltaico



Fuente: Elaboración propia

Finalmente se describe los beneficios entre ambas situaciones.

A). Beneficios en la situación sin proyecto

El único beneficio en la situación sin proyecto sería el ahorro en la inversión inicial.

B). Beneficios en la situación con proyecto

Los beneficios abarcarían aspectos económicos, pero en mayor grado aspectos ambientales.

1. Aspectos Económicos:

- Se obtiene un ahorro o ganancia de S/. 2163.54 para este proyecto.
- El costo de mantenimiento es considerable casi nulo.
- El costo de instalación equivale a cero, cuando todos los elementos para el sistema fotovoltaico se compra en una sola tienda o empresa.

2. Aspectos Ambientales:

- Reduce las emisiones de CO₂ generado por la quema de combustible para la generación de energía eléctrica.
- Contribuye a la reducción del efecto invernadero.
- Evita el aumento de ruidos y vibraciones, debido a que es un sistema silencioso; disminuyendo así la contaminación acústica.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La factibilidad del estudio no solo debe evaluada según el aspecto económico. Sino también, se debe considerar varios factores como los siguientes:
 - Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
 - Contribución a un planeta más limpio.
 - Reducción aproximada de 1kg de CO₂/Kwh generado por la quema de combustibles en la generación térmica, aplicando la transformación de energía a través del sistema fotovoltaico.
 - Fomentar el interés del uso e investigación de los recursos energéticos renovables (RER).
 - Fomentar conciencia en el cuidado del medio ambiente.
- Los aspectos negativos que no apoyan a la factibilidad de este estudio se debe a los siguientes aspectos:
 - El alto costo de los equipos que conforman el sistema fotovoltaico, debido a la escasa masificación de las instalaciones fotovoltaicas en nuestro país.
 - El bajo valor de irradiación solar disponible en la localidad de la Punta (Callao), tanto en la estación de invierno como la de verano.

- Este proyecto permitirá el desarrollo social, cultural y económico, mejorando la visión de la ENAMM a través del sistema de iluminación fotovoltaica. Sobre todo será la primera entidad reconocida en implementar este sistema de energía renovable limpia, lo cual conllevaría a ganar gran marketing promocional.
- La sostenibilidad del proyecto solo podrá garantizarse si se logra tomar conciencia e importancia de los miembros de la ENAMM de generar y brindar nuevas ideas de mejoramiento con la finalidad de éxito y progreso a nuestra alma mater.
- Implementando el sistema de generación fotovoltaico no se sufrirá de cortes, ya que el sistema está perfectamente diseñado en función de la carga pico.
- El mantenimiento del sistema solar fotovoltaico es muy básico, dando gastos en mantenimiento de cero.
- El sistema fotovoltaico se ha dimensionado en función a los datos históricos de radiación solar desde el año 1975 hasta 1990, dados por SENAMHI, obteniendo 3.3 Wh/m²/día y tres horas de radiación solar aproximadamente. Debido a que no podemos hacer uso de los instrumentos de medición solar ya que sus precios son elevados, no obteniendo valores exactos con respecto a la ubicación, fecha. No consiguiendo dimensionar nuestro proyecto de una forma más precisa en cuanto a la selección de los diferentes equipos que intervienen en el sistema.
- Con este estudio se ahorran 1900 Wh/día lo que se traduce en un ahorro del 41% con respecto al sistema de iluminación inicial.
- El uso de focos Led en la iluminación de los pasadizos de la 2° Cubierta del patio principal de la ENAMM, sería idóneo debido a su bajo consumo de energía, y largo tiempo de vida útil.

6.2 Recomendaciones

- Es recomendable una adecuada ventilación hacia los paneles solares para que se mantengan a la temperatura en los valores convenientes. A mayor temperatura, la potencia generada se reduce. Por esta razón se debe verificar la temperatura de operación de los paneles.
- Se recomienda que el gabinete que contiene la batería de almacenamiento no se coloque en los interiores de habitaciones debido a que algunas baterías emiten gases y podrían ocasionar posibles accidentes en la manipulación de estos equipos.
- Es necesario de un personal capacitado y adecuada para el uso, control y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos, para disponer de un correcto rendimiento de operatividad y brindar al sistema el ciclo de vida útil establecido.
- Se recomienda continuar las investigaciones en el campo de la generación de energía limpia a través de paneles solares u otros medios, aprovechando la localización de ENAMM.
- Finalmente, se sugiere aplicar dicha investigación de forma paulatina y oportuna para que la inversión inicial no sea demasiado elevada.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Referencias

Bautista, J. (2009, Noviembre). *Sistema Fotovoltaico: Gestión adecuada de sistemas de energía solar*. Intermediate Technology Development Group [ITDG]. Recuperado de:
www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/270/2373

De León, V. (2008). *Generación eléctrica fotovoltaica en la facultad de ingeniería USAC y estudio del aprovechamiento*. Tesis de PostGrado no publicada, USAC, Ciudad Universitaria, Guatemala. Recuperado de:
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0153_MT.pdf

Efecto fotovoltaico. (2016, 16 de junio). Campusenergia. Recuperado de:
<http://www.campusenergia.com/blog/item/430-%C2%BFen-qu%C3%A9-consiste-el-efecto-fotovoltaico?>

Energía Solar – Como funcionan los paneles fotovoltaicos. (2010). Gstriatum. Recuperado de:
http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/16_funciona_paneles.html

Estructuras para montaje de paneles solares. (s.f). Krannich the Global PV Expert. Recuperado de: <http://es.krannich-solar.com/es/productos/estructuras-fotovoltaicas/k2-systems.html>

Fernández, Alex. (2012, Mayo 13). *Siete barcos que funcionan con energía solar*. EROSKI CONSUMER. Recuperado de:
http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2012/04/26/209019.php

Fernando. (2015, Noviembre 03). *Energía Renovable*. ERENOVABLE.COM. Recuperado de:
<http://erenovable.com/energias-renovables/>

Forget, A. (2011, Junio 216). *Manual de diseño de sistemas fotovoltaicos aislados*. Lima. Perú. Recuperado de:
<http://www.astridforget.com/wp-content/uploads/2014/10/Manual-t%C3%A9cnico-AF-solar-FV-VF-110617.pdf>

Fusibles. (2016, Noviembre 22). EcuRed - Conocimientos con todos y para todos. Recuperado de: <https://www.ecured.cu/Fusibles>.

La energía Solar. (s.f). Censolar (Centro de Estudios de la Energía Solar). Recuperado de: <http://www.censolar.es/menu2.htm>

Los paneles solares fotovoltaicos. (2013). SitioSolar. Recuperado de:
<http://www.sitiosolar.com/los-paneles-solares-fotovoltaicos/>.

Muñoz, D. (2005). *Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. Universidad Nacional de Ingeniería. Ciudad de Lima. Perú. Recuperado de:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/893/1/munoz_ad.pdf

Muñoz, D. (2005). *Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. (p.64). Universidad Nacional de Ingeniería. Ciudad de Lima. Perú. Recuperado de:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/893/1/munoz_ad.pdf

Muñoz, D. (2005). *Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. (p.65). Universidad Nacional de Ingeniería. Ciudad de Lima. Perú. Recuperado de:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/893/1/munoz_ad.pdf

Muñoz, D. (2005). *Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. (p.69). Universidad Nacional de Ingeniería. Ciudad de Lima. Perú. Recuperado de:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/893/1/munoz_ad.pdf

Oliveira, J. (2015, Noviembre 21). *Auriga Leader, el primer carguero ayudado por energía solar*. VA DE BARCOS. Recuperado de:
<https://vadebarcos.net/2015/11/21/auriga-leader-el-primer-carguero-ayudado-por-energia-solar/>

Oliveira, J. (2016, Octubre 29). *El ferry sostenible Texelstroom*. VA DE BARCOS. Recuperado de: <https://vadebarcos.net/2016/10/29/ferry-sostenible-texelstroom-teso-lanaval/>

Paneles Fotovoltaicos: Concepto y tipos. (2013, Octubre 13). Energiza. Recuperado de: <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-fotovoltaicos-concepto-y-tipos>

Pareja, A.M. (2010). *Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada*. 2da ed. Editorial Marcombo S.A. Ciudad de Barcelona. España.

- Pérez, G. (2009). *Análisis de un sistema de iluminación, utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentando por paneles fotovoltaicos*. Universidad Austral de Chile. Ciudad de Valdivia. Chile. Recuperado de:
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmf cip434a/doc/bmf cip434a.pdf>
- Piriz, I. (2013, Noviembre 13). *Energía solar térmica y fotovoltaica aislada para pequeñas comunidades en Perú*. UNALM (La universidad Nacional Agraria La Molina), Ciudad de Lima, Perú. Recuperado de:
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20215/pdf?sequence=1>.
- ¿Qué inclinación debe tener un panel solar?. (2014). Calefacción Solar. Recuperado de: <http://calefaccion-solar.com/que-inclinacion-debe-tener-un-panel-solar.html>
- Quintanilla, A. (2000, Octubre 7). *Paneles o módulos fotovoltaicos*. Recuperado de:
<http://edii.uclm.es/~arodenas/Solar/componentes.htm>.
- Rodríguez, H. (2008, Diciembre 30). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. Recuperado de:
<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a12.pdf>
- SENAMHI – DEP/MEM. (2003, Enero). *Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú; “Atlas de energía Solar del Perú”*. Recuperado de:
http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

SENAMHI – DEP/MEM. (2003, Enero). *Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú; “Atlas de energía Solar del Perú”*. (p.12).Recuperado de:
http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

SENAMHI – DEP/MEM. (2003, Enero). *Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú; “Atlas de energía Solar del Perú”*. (pp.12 - 13).Recuperado de:
http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

SENAMHI – DEP/MEM. (2003, Enero). *Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú; “Atlas de energía Solar del Perú”*. (p.13).Recuperado de:
http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

SENAMHI – DEP/MEM. (2003, Enero). *Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú; “Atlas de energía Solar del Perú”*. (p.14).Recuperado de:
http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

SENAMHI – DEP/MEM. (2003, Enero). *Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú; “Atlas de energía Solar del Perú”*. (p.15).Recuperado de:
http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

SENAMHI – DEP/MEM. (2003, Enero). *Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú; “Atlas de energía Solar del Perú”*. (p.17).Recuperado de:
http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

Sistema Fotovoltaico (s.f). Energía Solar. Recuperado de:
<http://solete.nichese.com/sistemas.html>

Valdiviezo, P. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. Universidad Católica del Perú. Ciudad de Lima. Perú. Recuperado:
<http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/bitstream/handle/123456789/5447/pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Varela, C. (2000). *Evaluación Termica-Optica de pinturas reflectoras de radiación solar utilizadas en la construcción*. Tesis de Pregrado no publicada. Universidad de Sonora. Ciudad de Hermosillo. México.

Zumarán, M. (2016). *Las regiones del Perú. Regiones geográficas*. Recuperado de:
http://enperu.about.com/od/regiones_y_ciudades/a/Las-regiones-del-Peru.htm